

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-209546

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月7日

(51) IntCl⁸

H01S 3/13

識別記号

F I

H01S 3/13

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-8951

(22) 出願日 平成9年(1997) 1月21日

(71) 出願人 591102693

サンテック株式会社

愛知県小牧市大字上末122番地

(72) 発明者 鄭 台鎬

愛知県小牧市大字上末122番地 サンテック株式会社内

(72) 発明者 女鹿田 直之

愛知県小牧市大字上末122番地 サンテック株式会社内

(72) 発明者 川杉 昌弘

愛知県小牧市大字上末122番地 サンテック株式会社内

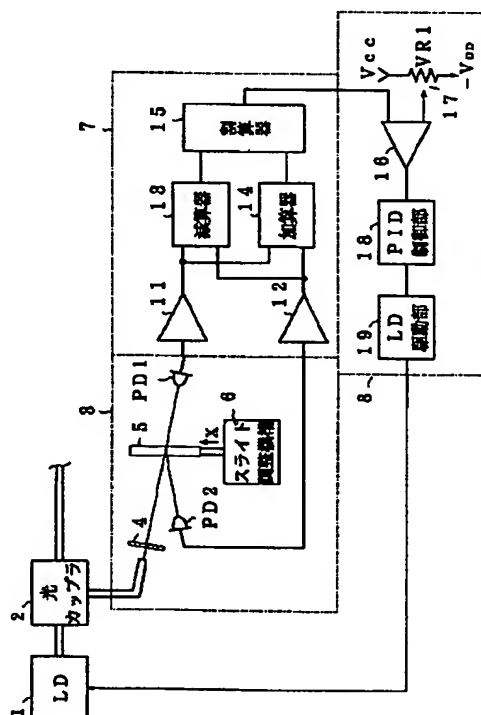
(74) 代理人 弁理士 岡本 宜喜 (外1名)

(54) 【発明の名称】 レーザ光源の波長安定化装置

(57) 【要約】

【課題】 極めて簡単な構成で正確に発光波長を制御できるようにすること。

【解決手段】 レーザダイオード1により発光させた光を干渉光フィルタ5に入射する。この干渉光フィルタ5を透過した光と反射した光を夫々フォトダイオードPD1、PD2で受光する。そしてその出力比を加算器13と減算器14及び割算器15によって算出して波長信号とする。そしてその出力比と基準値との差を誤差検出器16により検出して誤差信号とし、誤差信号が零となるようにレーザダイオード1の発光波長を制御するようにしている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光の波長を連続的に変化させることができるレーザ光源と、

前記レーザ光源の光が入射され所定波長の光を透過させ、他を反射させる光フィルタと、

前記光フィルタを透過する光及び前記フィルタに反射される光を夫々受光する第1、第2の受光素子と、

前記第1、第2の受光素子の出力比を算出する出力比算出手段と、

前記出力比算出手段による出力比が所定値となるように前記光源の発光波長を制御する波長制御手段と、を具備することを特徴とするレーザ光源の波長安定化装置。

【請求項2】 前記光フィルタは、透過波長 λ に対して $\lambda/4$ の光学厚さを有する低屈折率膜及び高屈折率膜を交互に多重に積層して構成された干渉光フィルタであることを特徴とする請求項1記載のレーザ光源の波長安定化装置。

【請求項3】 前記干渉光フィルタは、透過波長 λ が基板の所定方向に対して連続的に変化するようにその光学厚さを連続的に変化させたものであり、

前記波長安定化装置は、前記レーザ光源から前記干渉光フィルタへの入射光の入射位置をその所定方向に対して連続的に変化させるスライド調整機構を更に有するものであることを特徴とする請求項2記載のレーザ光源の波長安定化装置。

【請求項4】 前記波長制御手段は、前記出力比算出手段によって算出された出力比とを所定の基準値との差を検出する誤差検出手段と、

前記誤差検出手段に基準値を設定する基準値設定手段と、

前記誤差検出手段により検出される誤差値が0となるように前記レーザ光源の発光波長を制御する光源駆動手段と、を具備することを特徴とする請求項1～3のいずれか1項記載のレーザ光源の波長安定化装置。

【請求項5】 前記レーザ光源と光フィルタとの間に前記光フィルタの透過波長をカットオフ波長とするカットフィルタを更に設けたことを特徴とする請求項1～4のいずれか1項記載のレーザ光源の波長安定化装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光通信、光情報処理、光計測等に使用される半導体レーザ等のレーザ光源の波長を安定化するための安定化装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】現在光通信においては、光ファイバに多数の波長の光を多重化して通信することにより、伝送量を単一波長の光を用いた場合に比べて大幅に増加させる波長多重通信方式が検討されている。波長多重通信を実

現するためには、光信号をそのまま増幅できる比較的狭い波長の帯域内に、例えば1nm以下の間隔で多数の波長のレーザ光を伝送するため、レーザ光源の波長を十分安定化させておく必要がある。又、光情報処理、光計測においては、情報の高密度化や計測の高精度化のためにレーザ光源の波長安定化は重要な課題である。

【0003】レーザ光源の発光波長を安定化するためには、例えば何らかの方法で基準となる波長特性を有する素子を用い、発光波長との誤差を検出してレーザ光源に帰還する。そのため従来より、原子や分子の吸収を用いてそれを基準として波長を安定化する装置や、ホログラフィ、グレーティング又はマッハツェンダ干渉計やファブリペロー干渉計を用いて基準となる光又は光源の波長をディザによって変調し、波長を調整するようにした方法が知られている。ディザとは光の波長を何らかの方法でわずかに振動させることであり、これによって基準となる波長との差及び方向を判別してレーザ光源に帰還することによって、発光波長を安定化している。又多層干渉光フィルタやエタロン等を用いて波長の基準とし、レーザ光源の発光波長を安定化するようにした方法も用いられている。

【0004】又特開昭60-74687号では、ディザをかけず半導体レーザからの光を分離し、わずかに透過する波長の異なる2つのフィルタを用いて夫々のフィルタを通過する光のレベルを光電変換素子によって検出し、その光強度比が一定となるように半導体レーザに帰還する方法が提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながらこのような従来の方法は、ディザにより光源に微妙な変化を与えて発光波長を変化させ、電気的に方向を判別し、基準に対する変化分を検出して光源である半導体レーザにフィードバックしているため、光源の光が変調されてしまう。そのため情報としての変調信号と重なる可能性があり、ディザの影響をなくすためにローパスフィルタ等の電気フィルタ等が必要になるという欠点があった。又ディザを用いるため制御系が複雑となり、ディザが可動部を伴う場合には、信頼性が低く、寿命が短くなるという欠点があった。又特開昭60-74687号の方法においては、光を分岐するためにビームスプリッタ等が必要となるが、ビームスプリッタは光の偏光の影響を受け、又温度によって分光比が変わり易く、理想的に所定の比率で光を安定に分岐する素子を作ることが難しいという欠点があった。又フィルタについてもわずかに透過波長の異なる2つの光フィルタを製造することが難しいという欠点があった。

【0006】本発明はこのような従来の問題点に着目してなされたものであって、光源にディザによる変調をかけることなく、極めて簡単な構成で正確に所定の波長のレーザ光を発光することができるレーザ光源の波長安定

化装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本願の請求項1の発明は、光の波長を連続的に変化させることができるレーザ光源と、前記レーザ光源の光が入射され所定波長の光を透過させ、他を反射させる光フィルタと、前記光フィルタを透過する光及び前記フィルタに反射される光を夫々受光する第1、第2の受光素子と、前記第1、第2の受光素子の出力比を算出する出力比算出手段と、前記出力比算出手段による出力比が所定値となるように前記光源の発光波長を制御する波長制御手段と、を具備することを特徴とするものである。

【0008】本願の請求項2の発明では、前記光フィルタは、透過波長 λ に対して $\lambda/4$ の光学厚さを有する低屈折率膜及び高屈折率膜を交互に多重に積層して構成された干渉光フィルタであることを特徴とするものである。

【0009】本願の請求項3の発明では、前記干渉光フィルタは、透過波長 λ が基板の所定方向に対して連続的に変化するようにその光学厚さを連続的に変化させたものであり、前記波長安定化装置は、前記レーザ光源から前記干渉光フィルタへの入射光の入射位置をその所定方向に対して連続的に変化させるスライド調整機構を更に有することを特徴とするものである。

【0010】本願の請求項4の発明では、前記波長制御手段は、前記出力比算出手段によって算出された出力比とを所定の基準値との差を検出する誤差検出手段と、前記誤差検出手段に基準値を設定する基準値設定手段と、前記誤差検出手段により検出される誤差値が0となるように前記レーザ光源の発光波長を制御する光源駆動手段と、を具備することを特徴とするものである。

【0011】本願の請求項5の発明は、前記レーザ光源と光フィルタとの間に前記光フィルタの透過波長をカットオフ波長とするカットフィルタを更に設けたことを特徴とするものである。

【0012】このような特徴を有する本発明によれば、レーザ光源を発光させて、そのレーザ光を光フィルタに入射する。このフィルタは所定波長の光を透過し他を反射させるため、透過した光と反射した光を夫々第1、第2の受光素子によって受光し、その出力比を出力比算出手段によって算出する。そして出力比が所定値となるようにレーザ光源の発光波長を制御することにより、所定の波長のレーザ光を発光させることができる。請求項2の発明は、このような光フィルタを多層膜による干渉光フィルタによって実現したものである。又多層膜干渉光フィルタを請求項3に示すように、所定方向に対して透過波長が連続的に変化するように構成した波長可変型の干渉光フィルタを用い、その受光位置を変更するようになれば、レーザ光源の発光波長を変化させることがで

きる。又請求項4の発明では、基準値設定手段により基準値を設定しておき、誤差検出手段により出力比算出手段によって算出された出力比と基準値との差を誤差として検出する。そして光源駆動手段により誤差が0となるようにレーザ光源を制御することにより、レーザ光源の発光波長を微調整することができる。更に請求項5の発明では、光源と光フィルタとの間にカットフィルタを設けることにより、光フィルタの特性のうち一方のスロープ部分のみをロック点として規定するようにしたものである。

【0013】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1の実施の形態による波長安定化装置の全体構成を示すブロック図である。本図においてレーザ光源は、この実施の形態では分布帰還型のレーザダイオード(LD)1を用いるものとし、1本の線スペクトルのレーザ光を発光する。このレーザ光源の発光波長は電流又は温度制御によって例えば2~3nm以内の範囲で外部より制御することができる。このレーザ光は光カップラ2に導かれる。光カップラ2は入射光の一部を分岐し、他を透過させて通信用又は測定用光源とするように光を分岐させるものであり、分岐された光は光分岐手段3に与えられる。これらの間は光ファイバで連結しておいてもよく、又直接空間で接続するようにしてもよい。さて光分岐手段3は図示のように入射光の光の一部を遮光するカットフィルタ4を有し、カットフィルタ4を通過した光は干渉光フィルタ5に与えられる。この干渉光フィルタ5は入射位置に応じて透過する波長が連続的に変化するように構成したものである。そしてこの干渉光フィルタ5を機械的にX軸方向に微小距離スライドさせるためのスライド調整機構6を有しており、スライド調整機構6によってフィルタを透過する光の波長を連続的に変化させることができる。

【0014】そして干渉光フィルタ5を通過する位置に第1の受光素子、例えばフォトダイオードPD1を配置し、干渉光フィルタ5から反射された光を受光する位置に第2の受光素子であるフォトダイオードPD2を配置する。これらのフォトダイオードPD1、PD2の出力は出力比算出手段7に与えられる。出力比算出手段7は第1、第2の受光素子であるフォトダイオードPD1、PD2の出力比を算出するものであり、その出力は波長制御手段8に与えられる。波長制御手段8は出力比算出手段7による出力比が所定値となるようにレーザ光源の発光波長を制御するものである。レーザ光源1の発光波長はレーザダイオード1の駆動電流を変化させたり、周囲温度を変化させることによって調整するものとする。

【0015】次に本発明の第2の実施の形態について説明する。この実施の形態では出力比算出手段7及び波長制御手段8をより具体的に示したものである。光分岐手段3までの構成については前述した第1の実施の形態と同一であるので、詳細な説明を省略する。この実施の形

10

20

30

40

50

態では光分岐手段3の第1, 第2のフォトダイオードPD1, PD2からの出力は出力比算出手段7内のI/V変換器11, 12に与えられ、電圧信号に変換される。I/V変換器11, 12の出力は加算器13及び減算器14に与えられ、夫々の出力は加算及び減算されて割算器15に与えられる。割算器15は光カップラ2で分岐された光を正規化し、これらの出力比に基づいて入力光の波長を検出するものである。ここでI/V変換器11, 12、加算器13、減算器14、割算器15は第1, 第2の受光素子の出力比によってレーザ光の波長を検出する出力比算出手段7を構成しており、その出力は誤差検出器16に与えられる。誤差検出器16の他方の入力端には基準電圧が与えられている。この基準電圧は+V_{CC}〜V_{DD}の間で基準値設定手段17、例えば可変抵抗器VR1によって調整できるように構成する。誤差増幅器16はこの基準電圧と入力電圧との差を誤差信号として検出し、誤差信号をPID制御部18に与える。PID制御部18は誤差信号が0となるようにPID制御するものであり、その出力はレーザダイオード駆動部19を介してレーザダイオード1に帰還するように構成されている。レーザダイオード駆動部19はレーザダイオード1に流す電流、又はレーザダイオード1の温度を制御することにより、レーザダイオード1の発光波長を、例えば2〜3nm以下の範囲内で変化するように制御するものである。ここで誤差検出器16と誤差検出器16に基準電圧を与える可変抵抗器VR1、PID制御部18、レーザダイオード駆動部19は、出力比算出手段7による出力比が所定値となるようにレーザ光源の発光波長を制御する波長制御手段8を構成している。

【0016】この干渉光フィルタ5は特公平7-92530号に示されるように、高屈折率膜と低屈折率膜とを交互に積層し、積層した波長の光学厚さを連続的に変化させるようにしたものである。次にこの干渉光フィルタについて図3を用いて説明する。本実施の形態による波長可変型の干渉光フィルタ5は、例えばガラス、シリコン等のサブストレータ21上に物質を多層蒸着させて構成している。このサブストレータ21は使用する波長の範囲で光の透過率が高い材質を用いて構成するものとし、誘電体や半導体が用いられる。本実施の形態では石英ガラスを用いている。そしてこのサブストレータ21の上部には、使用する波長での光の透過率の高い蒸着物質、誘電体、半導体等の多層膜22を蒸着する。ここで多層膜22は図示のように下部多層膜23、キャビティ層24及び上部多層膜25から形成されるものとする。又サブストレータ21の下面には反射防止膜26を蒸着によって形成する。

【0017】ここで多層膜22、反射防止膜26の蒸着材料として用いられる物質は、例えばSiO₂ (屈折率n=1.46)、Ta₂O₅ (n=2.15)、Si (n=3.46) やAl₂O₃、Si₃N₄、MgF等が用いられる。又本実

施の形態では多層膜23, 25は低屈折率膜と高屈折率膜とを交互に積層して蒸着させている。ここで膜厚dと透過波長λ、屈折率nとは以下の関係となるようにする。

$$\lambda = 4nd \quad \cdots (1)$$

即ち各層はその光学厚さndをλ/4とする。そして低屈折率膜と高屈折率膜とを交互に積み重ねることによって透過率のピークの半値全幅(FWHM)を小さくしている。又キャビティ層24の膜厚d_cとは透過波長λ、屈折率nとは以下の関係になるようにする。

$$\lambda = 2nd_c \quad \cdots (2)$$

即ちキャビティ層24の光学厚さnd_cはλ/2とする。

【0018】さて本実施の形態による干渉光フィルタ5は、透過波長と膜厚とが式(1), (2)の関係を有することから、サブストレータ21を細長い板状の基板とし、多層膜22の屈折率を一定とし、膜厚を連続的に変化させて透過波長λを異ならせるようにしている。そしてこの波長可変型干渉光フィルタ5の透過波長をλ_a〜λ_c (λ_a < λ_c) とし、その中心点(x=x_b)での透過波長をλ_bとする。上下の多層膜23, 25は、夫々第1の屈折率n₁の第1の蒸着物質膜とこれより屈折率の低い第2の屈折率n₂の第2の蒸着物質膜とを、交互に積層して構成する。即ち図3(a)の円形部分の拡大図を図3(c)に示すように、夫々の膜厚を連続的に変化させている。図3(c)において、下部多層膜23の低屈折率膜を23L、高屈折率膜を23Hとし、上部多層膜25の高屈折率膜を25H、低屈折率膜を25Lとする。そして図3(a)のフィルタのX軸上での端部x_aの透過波長λ_aに対して、夫々低屈折率膜及び高屈折率膜で上記の式(1), (2)が成り立つように設定する。又x_b, x_cでの透過波長λ_b, λ_cに対しても、その波長λ_b, λ_cで式(1), (2)が成り立つようにその膜厚を設定する。そしてその間の膜厚も波長の変化が直線的に変化するように設定する。従って層の各膜厚は図示のようにX軸上の位置x_a〜x_cにつれて連続的に変化し、X軸の正方向に向かって膜厚が大きくなる。

【0019】このように膜厚を連続的に変化させることは、サブストレータ21上に多層膜22を蒸着して形成する際に、蒸着源との間隔を連続的に変化するようにサブストレータを傾けて配置しておくことにより、実現することができる。

【0020】又干渉光フィルタ5の膜厚自体を連続して変化させるようにしているが、各膜厚は一定とし、多層膜22の屈折率n₁, n₂をX軸方向に連続的に変化させるようにして光学厚さを連続的に可変するようによい。

【0021】このようにして構成した干渉光フィルタ5は狭帯域特性を有し、しかも温度変化等に対して十分安

定した特性を有している。従って干渉光フィルタ5へ光が入射する位置をスライド調整機構6を用いて機械的にX軸方向に移動させることによって、透過波長自体を連続的に変化させることができる。

【0022】次にこの実施の形態による波長安定化装置の動作について説明する。図4(a)はカットフィルタ4の特性を示すグラフであり、図4(b), (c)は干渉光フィルタ5の透過率、反射率の特性を示すグラフである。これらの図より明らかなようにカットフィルタ4は干渉光フィルタ5の中心周波数をカットオフ周波数としてこれより長い波長の周波数を透過し、波長の短い光を遮断するような特性を選択する。又干渉光フィルタ5は所定の波長 λ_1 の光を透過させ、図4(c)に示すようにその他の光を反射させる特性を有している。このときレーザダイオード1の発光波長 λ に対してフォトダイオードPD1, PD2に得られる光出力は夫々図4

(d), (e)に示すものとなる。このときフォトダイオードPD1, PD2で得られる出力は夫々図4(b)の透過率及び図4(c)の反射率に対応している。

【0023】従ってフォトダイオードPD1, PD2のI/V変換出力をA, Bとすると、これらを加算及び減算し、割算器15により割算し、 $(A-B)/(A+B)$ を算出する。割算することにより正規化したレベルは図5に示すものとなる。このようにレーザ光源の発光波長に応じて波長モニタ信号が連続的に変化する。波長モニタ信号のレベルと誤差検出器16の基準電圧との差分値を誤差信号とし、誤差信号が零となるように制御することによって、誤差検出器16に設定された基準電圧と一致するようにレーザダイオード1の波長を制御することができる。例えば基準電圧を0Vとすれば、PD1, PD2の出力レベルが等しい波長 λ_2 を発光したとき、誤差信号は0となり、レーザダイオードの発光波長を λ_2 に制御することができる。又基準電圧を図5のレベルV1に設定すれば、短波長側の λ_4 に波長がロックされることとなる。このように誤差検出器16の基準電圧を変化させることによって図4, 図5に示す波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ の範囲内で発光波長を微調整することができる。

【0024】図6(a)はこの実施の形態による波長安定化装置の光分岐手段3, 出力比算出手段7及び波長制御手段8を1つのケース31に収納した状態を示す斜視図である。この実施の形態では、図示しない光カップラ2より光ファイバ32を介してケース31にレーザ光の一部が入射しており、レーザダイオード駆動部19からの信号が出力できるように構成される。そしてスライド調整機構6の調整つまみ33と可変抵抗器VR1による基準電圧の設定つまみ34とが設けられ、ケースの外部より調整できるように構成されている。

【0025】又発光波長を大きく変化させるためにはスライド調整機構6の調整つまみ33を回転させて干渉光フィルタ5への入射光の入射位置を変えれば、図4

(b), (c)に示す干渉光フィルタ5の透過波長 λ_1 を変化させることができる。この場合にはカットフィルタ4もこれに応じた特性を有するフィルタを用いる必要がある。こうすれば発光可能な波長を大きく変化させることができる。従って発光波長を干渉光フィルタ5への入射位置によって大まかに調整し、微妙な波長の調整を基準値設定手段17の基準電圧を変化させることによって調整すれば、使用者が任意の波長に設定することが可能となる。このように本発明では1つの光学素子を用いることにより、ビームスプリッタや2つの近接する透過波長を有するフィルタを用いることなく、正確に波長を制御することができる。

【0026】尚前述した第2の実施の形態では、スライド調整機構6と可変抵抗器VR1のつまみ33, 34をケースの外部から調整できるようにしているが、図6

(b)に示すように可変抵抗器VR1による基準値設定手段を設けることなくスライド調整機構6のつまみ33のみで波長を変化させるようにしてもよい。又図6

(c)に示すように、製造時に必要な波長に設定しておく、スライド調整機構6のつまみ33、及び微調整のための可変抵抗器のつまみ34をケース外部に露出させず、レーザ光源の発光波長を調整できないようにすることもできる。こうすれば使用者が逐一波長を調整することなく極めて簡単な構成でレーザ光源の発光波長を安定化させた安定化装置を実現することができ、気密封止も容易となる。又スライド調整機構のつまみ33をケース31外に露出させることなく、図6(d)に示すように微調整のための可変抵抗器のつまみ34のみを調整可能としてもよい。この場合には製造時にスライド調整機構によって必要な波長に設定しておくことより、使用者は設定波長の所定範囲内で発光波長の微調整をすることができる。

【0027】次に本発明の第3の実施の形態について図7を用いて説明する。第3の実施の形態においては、入射位置によって透過光を連続的に変化させることができる干渉光フィルタ5に代えて、一定の波長の光を透過させる通常の干渉光フィルタを用いたものである。図7は第3の実施の形態によるレーザ光源の波長安定化装置の全体構成を示すブロック図であり、前述した第1, 第2の実施の形態と同一部分は同一符号を付して詳細な説明を省略する。この実施の形態では干渉光フィルタ5に代えて、波長分岐手段3A内に一定の波長の光を透過させる干渉光フィルタ41を設ける。この場合にはスライド調整機構6は不要となる。そしてレーザダイオード1の発光波長を干渉光フィルタ41の透過特性とほぼ一致させておく。この場合には発光波長の微調整を基準値設定手段17で設定する基準電圧によって行うことができる。

【0028】又発光波長の調整範囲が例えば2~3nm以内であればこれだけでもよいが、更に広い範囲に渡って

発光波長を変化させる場合には、干渉光フィルタ21とフォトダイオードPD2の角度を調整する角度調整機構42を設ける。角度調整機構42はカットフィルタ4を通過して干渉光フィルタ21に入射する光の入射角度をわずかに変化させることによって透過波長 λ を入射角に応じて連続して変化させるものである。この場合には反射光を正確に受光できるように、角度調整機構42によって第2の受光素子PD2の位置を干渉光フィルタ5の角度に応じて変化させる必要がある。又この角度をあまり大きくするとP偏光とS偏光とで透過レベルが変化するため、例えば5°以内とすることが必要となる。又入射光の入射角度を0付近にすれば偏光成分による光強度の変化の影響を少なくすることができるが、反射光を受光するため光学系の形状が大きくなる。従って角度調整機構42は数0°～5°の範囲内に入射角度を設定し、各入射角度に応じて反射光を受光できるようにフォトダイオードPD2の位置と方向を調整できるようにすることが好ましい。

【0029】尚第3の実施の形態においても、角度調整機構42によって干渉光フィルタ41とフォトダイオードPD2の角度を変化させるようにしているが、これらを同時に調整することは機構上難しいため、所定の波長を設定する際に所定の角度に調整した後、これを固定しておくようにしてもよい。この場合には可変抵抗器VR1の設定によって発光波長を微調整することができる。

【0030】尚前述した第2、第3の実施の形態では、信号処理回路として加算器と減算器及びその出力比を算出する割算器を設けているが、2つのI/V変換器の比を直接算出するようにしてもよいことはいうまでもない。又カットフィルタ4を設けることなく、図4

(b)、(c)に示すように透過/反射特性のスロープの2つの位置でロック点を設定できるようにしてもよい。この場合には誤差信号の移動方向によって2つのロック点の一方に発光波長を制御することができる。

【0031】又前述した実施の形態ではレーザ光源としてレーザダイオードを用いているが、その他のレーザ光源を用いてもよい。又光カップラ2に代えて、他の種々の光分岐素子を用いることができることはいうまでもない。

【0032】

【発明の効果】以上詳細に説明したように本願の請求項1～5の発明によれば、干渉光フィルタを用いることにより入射光と反射光との比率から光源の発光波長を制御するようにしている。そのため従来の波長制御方法のように分光比を正確に一定に保つことが難しいビームスプリッタを用いる必要がなく、その温度制御も不要とな

る。又波長選択特性が近接する2つのフィルタを用いることも不要となる。従って極めて簡単な構成で正確な波長制御が可能となる。又請求項3の発明では、干渉光フィルタへの入射位置を制御することによって発光波長を広い範囲内で制御することができるという効果が得られる。又請求項4の発明では、基準値設定手段により設定する基準値を変化させることによって、レーザ光源の発光周波数を微調整することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】本発明の第1の実施の形態による光源の波長安定化装置の全体構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態による光源の波長安定化装置の全体構成を示すブロック図である。

【図3】(a)は本発明の第1の実施の形態によるシングルキャビティ構造の干渉光フィルタの構成を示す断面図、(b)はそのX軸上で透過率の変化を示すグラフ、(c)は(a)の円形部分の拡大断面図である。

20 【図4】カットフィルタと干渉光フィルタ及びフォトダイオードPD1、PD2の発光波長に対する特性変化を示すグラフである。

【図5】波長に対する誤差信号の変化を示すグラフである。

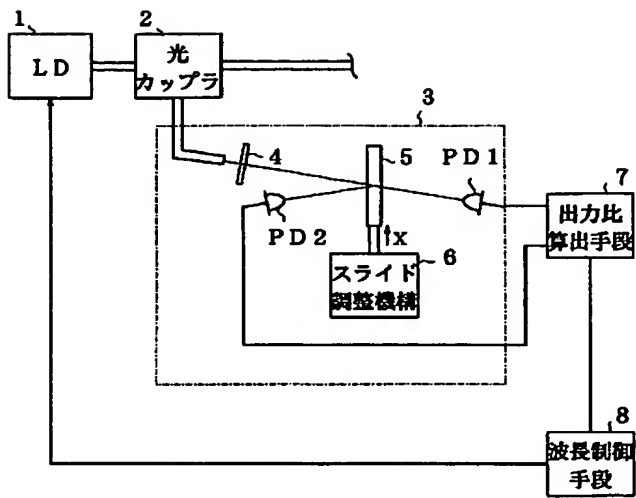
【図6】第2の実施の形態による波長制御装置の構成を示す斜視図である。

【図7】本発明の第3の実施の形態による光源の波長安定化装置の全体構成を示すブロック図である。

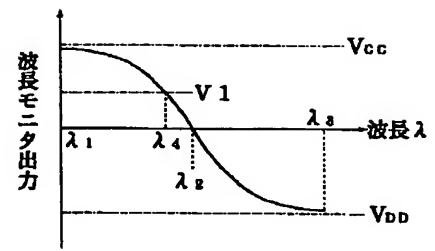
【符号の説明】

- 1 レーザダイオード
- 2 ビームスプリッタ
- 3, 3A 光分岐手段
- 4 カットフィルタ
- 5, 41 干渉光フィルタ
- 6 スライド調整機構
- 7 出力比算出手段
- 8 波長制御手段
- 11, 12 I/V変換器
- 13 加算器
- 14 減算器
- 15 割算器
- 40 16 誤差検出器
- 17 基準値設定手段
- 18 PID制御部
- 19 レーザダイオード駆動部
- 33, 34 つまみ
- 42 角度調整機構
- PD1, PD2 フォトダイオード

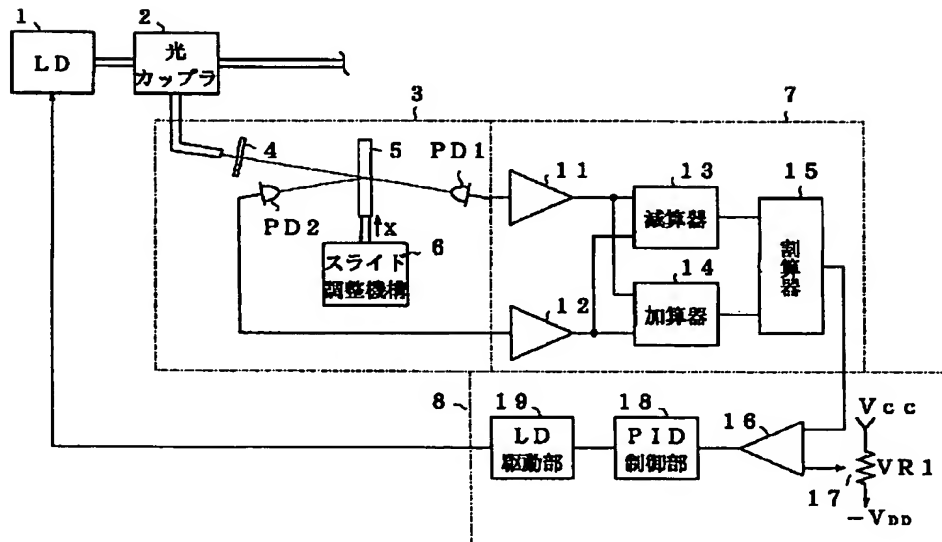
【図1】



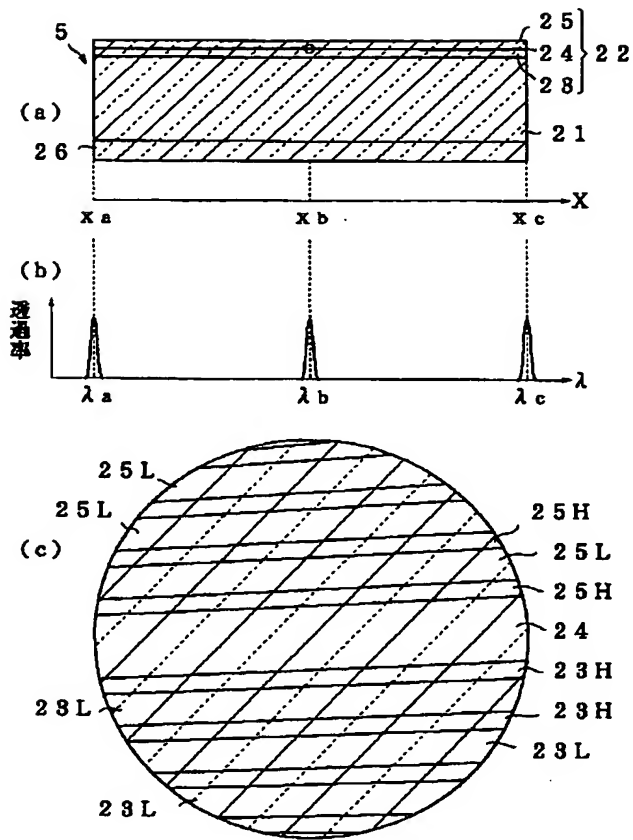
【図5】



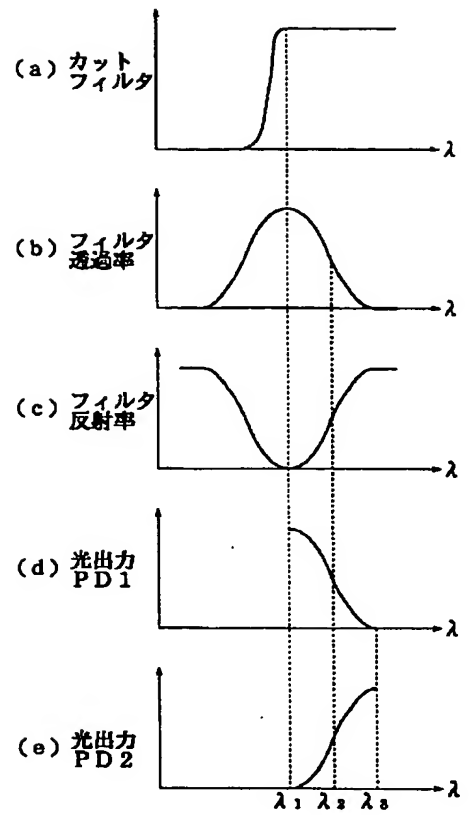
【図2】



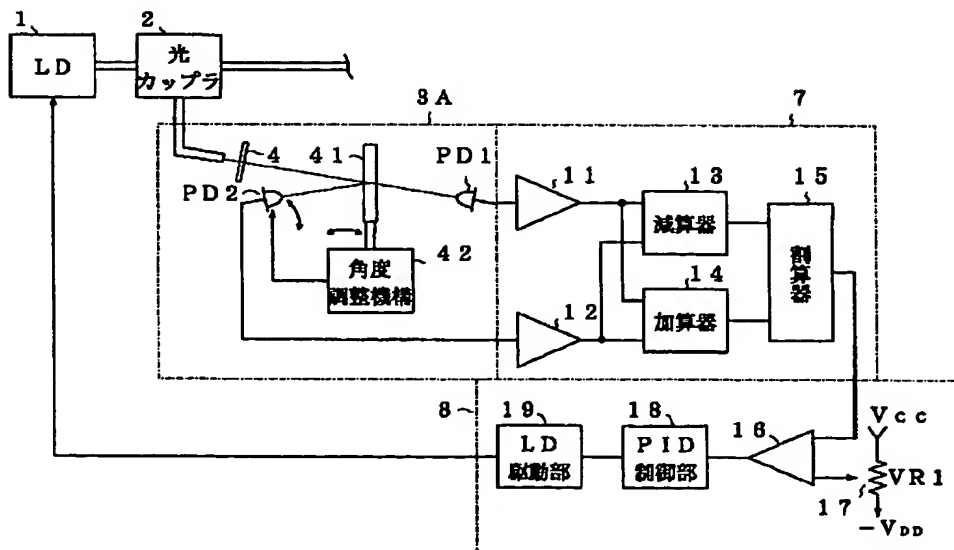
【図3】



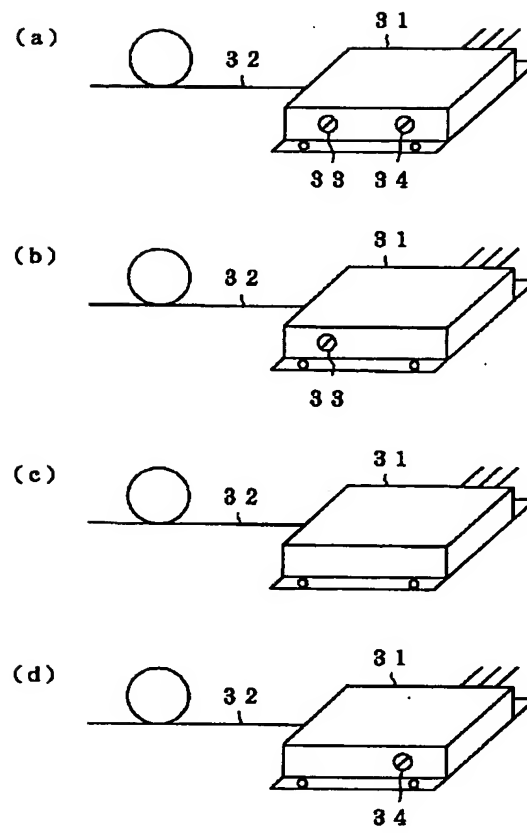
【図4】



【図7】



【図6】



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-79723

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月24日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J 14/00			H 0 4 B 9/00	E
	14/02		H 0 1 S 3/133	
H 0 1 S 3/133			H 0 4 B 9/00	K
H 0 4 B 10/08				S
10/14				

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-186204

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月11日

(31) 優先権主張番号 08/680 284

(32) 優先日 1996年7月11日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390023157

ノーザン・テレコム・リミテッド

NORTHERN TELECOM LIMITED

カナダ国, エイチ2ワイ 3ワイ4, ケベック, モントリオール, エスティ. アントイン ストリート ウェスト 380 ワールドトレード センタ オブ モントリオール 8フロア

(74) 代理人 弁理士 酒井 宏明

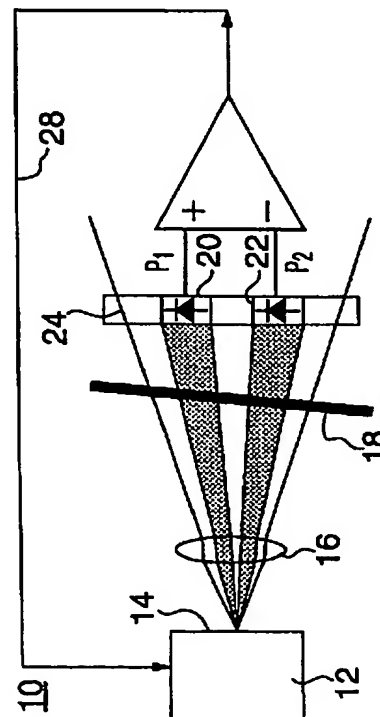
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割多重光伝送システム用の波長監視制御装置

(57) 【要約】

【課題】 小型の波長監視制御装置、好ましくは小型の半導体レーザパッケージ内に集積可能であるとともに、WDM光伝送システムに適用可能な波長監視制御装置を提供すること。

【解決手段】 レーザ放出發散源12から放出された非コリメート光は、フィルタ素子18を透過して、2つの近接して離れた光検出器20、22上へ向けられる。波長安定化のために、2つの光検出器20、22の異なる出力が、レーザ放出發散源12の波長を所望の目標波長に安定化させるためのフィードバックループに使用される。ファブリー・ペロエタロンの波長透過率が入射ビームの入射角度に依存することによって、放出發散源12から放出された種々の波長は、2つの光検出器20、22に対して異なる透過損失に変換され、そのため波長変化は異なるパワー変化として検出される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 発散するレーザ光の放出源を備えた光システムに対する波長監視制御装置であって、

該装置は、

互いに所定距離だけ離れ、かつ前記放出源から所定距離の所に配設された第1および第2の光検出器と、前記放出源と前記検出器との間に配設され、かつフィルタの波長透過率の角依存性を提供するために前記放出源の光軸に対して角度 θ で傾斜されたファブリー・ペロ構造の透過帯域幅の狭い波長選択透過フィルタ素子と、前記放出源の波長変化に対応して、同放出源の制御手段に、前記第1および第2の光検出器に基づいて生成された差信号をフィードバックするための制御ループと、を具備することを特徴とする波長監視制御装置。

【請求項2】 前記放出源と前記透過フィルタ素子との間に、前記レーザ放出源の発散を制御するためのレンズを具備することを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項3】 前記レーザ放出源はパッケージ内に収納された半導体レーザでできており、また前記波長監視装置は前記パッケージと同一のパッケージ内に収納されていて、集積化された装置となっていることを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項4】 前記レーザ放出源は、半導体レーザの出力端面で構成されていることを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項5】 前記レーザ光源は、劈開されたシングルモードファイバーを含むことを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項6】 前記レーザ光源は、端面が傾斜されたシングルモードファイバーを含むことを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項7】 前記放出源に対するエタロンの傾斜角度 θ は、波長制御を行うために調整可能になっていることを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項8】 前記光検出器は、同等の対をなすフォトダイオードであることを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項9】 前記2つの光検出器のそれぞれの利得は、独立して調整可能であり、それら2つの光検出器に対して等しくない利得を設定することにより、所定波長が選択可能になっていることを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項10】 ファブリー・ペロフィルタを特徴づける複数の透過ピークの波長間隔により決まる複数の所定波長に対して、同時に安定化する点が達成され得ようになっていることを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項11】 レーザ放出源の波長を安定化するための波長監視制御装置であって、

該装置は、

パッケージと、

所定の直径および隔離距離を有し、かつ発散する前記レーザ放出源から所定距離の所で同一平面上に配設された第1および第2の光検出器と、

前記放出源と前記検出器対との間に、前記放出源の光軸に対して角度 θ で傾斜して配設され、それによってフィルタの透過強度が波長に依存して前記レーザ放出源の所望の波長に集中するファブリー・ペロ構造の透過帯域幅の狭い波長選択透過フィルタと、

レーザ放出源の波長を制御するフィードバックループを介して信号を供給するために、前記第1および第2の光検出器に基づいて、前記波長選択フィルタによって透過された波長の変化に依存する差信号を生成する手段と、を具備し、

前記第1および第2の光検出器と前記波長選択透過フィルタと前記差信号生成手段は、前記パッケージ内に集積されていることを特徴とする波長監視制御装置。

【請求項12】 前記フィルタは、ファブリー・ペロエタロンでできており、該エタロンの前記放出源に対する傾斜角度 θ は、所定波長に調整するために、調整可能になっていることを特徴とする請求項1に記載の波長監視制御装置。

【請求項13】 前記レーザ放出源の発散を制御するためのレンズを具備することを特徴とする請求項11に記載の波長監視制御装置。

【請求項14】 前記レーザ放出源は、半導体レーザの出力端面で構成されていることを特徴とする請求項11に記載の波長監視制御装置。

【請求項15】 前記レーザ光源は、劈開されたシングルモードファイバーを含むことを特徴とする請求項11に記載の波長監視制御装置。

【請求項16】 前記レーザ光源は、端面が傾斜されたシングルモードファイバーを含むことを特徴とする請求項11に記載の波長監視制御装置。

【請求項17】 前記光検出器は、同等の対をなすフォトダイオードであることを特徴とする請求項11に記載の波長監視制御装置。

【請求項18】 前記2つの光検出器のそれぞれの利得は、独立して調整可能であり、それら2つの光検出器に対して等しくない利得を設定することにより、所定波長が選択可能になっていることを特徴とする請求項11に記載の波長監視制御装置。

【請求項19】 ファブリー・ペロフィルタを特徴づける複数の透過ピークの波長間隔により決まる複数の所定波長に対して、同時に安定化する点が達成され得ようになっていることを特徴とする請求項11に記載の波長監視制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ源の波長を安定化するための制御信号を供給する波長監視装置、およびそれを適用してなる波長分割多重光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信システムは、低損失で非常に大容量の情報を搬送する能力を有している。実際に、光ファイバの帯域幅は、異なる搬送波長を利用することによって、たくさんの異なるチャネルを同時に伝送するようにして利用され得る。そのような技術は、波長分割多重（以下、WDMと略記する）と呼ばれる。帯域が狭いWDMシステムでは、ファイバ伝送容量を増やすために、8、16またはそれ以上の近接した互いに異なる波長が間隔をあけて使用される。

【0003】個々のチャネルが占める波長帯域幅は、伝送情報の帯域幅、および搬送周波数のドリフトや搬送周波数の不確かさに適応するためのマージンや、非理想的すなわち実際のフィルターが原因で生じるチャネル間でのクロストーク（漏話）を極力低減するためのマージンを含む要因の数に依存している。

【0004】チャネル数を最大化するためには、波長間隔の狭いたくさんの波長を用いる必要がある、そのためには、発振波長が安定したレーザと適切な波長制御が必要である。

【0005】分布帰還型（DFB）半導体レーザ等の幾つかのレーザ源は、時間の経過とともに、狭帯域WDMに対する許容範囲を超える波長ドリフトを示す。そのデバイスの波長は、連続的な出力状態において劣化して変化しがちである。遠隔通信システムでは、25年のオーダーの寿命が期待されるため、その寿命に至るまで近接したチャネル間のクロストークを最小限に抑制するために、レーザ送信機に波長制御手段を付加する必要がある。

【0006】単一波長による光通信システムは、工業的に広く使用されている。理想的には、システム設計者は、既存のシステムの設計変更を最小限に止めるとともに、WDMシステムの開発において既存のパッケージを流用しようとする。

【0007】典型的に、公知のレーザ波長監視安定化システムは、レーザ源の標準パッケージ（送信機）に外付けするユニットとなっている。半導体レーザの波長の監視および制御を行うために商業的に利用可能なシステムは、結晶格子に基づく装置である。例えば、Accuwaveにより作製され、かつその製造に関する文献に記載された公知のシステムでは、波長固定ユニットが用いられている。その波長固定ユニットは、2つのブラッグ格子が形成され、当該装置に結合されたレーザ源から射出されたコリメート光により照射されるようにされたニオブ酸リチウム結晶と、2つの光検出器を有している。

【0008】各ブラッグ格子は、入力ビームに対してブ

ラッグ波長および角度がわずかに異なっている。その格子で反射された出力は、2つの検出器に向かい、その異なる出力を用いて、レーザに対するフィードバック制御が行われる。制御ループを用いたことにより、10pmよりも優れた波長安定性が得られる可能性がある。しかしながら、その波長固定ユニットは送信機から分離されたユニットを使用しているため、レーザまたは光源に外部で接続する必要がある。さらに、その波長固定ユニットは、格子パラメータにより特性が決まるので、特定の波長用に設計される。つまり、波長が異なれば、異なるユニットが必要となる。

【0009】公知の波長監視制御装置の別のタイプは、ファイバ格子に基づくものである。例えば、1996年3月4日付けでE p w o r t hらにより出願された英国特許出願第96/00478号は、半導体レーザの、反射防止コートのある表面に端面接合された光ファイバ内のブラッグ反射部によって、外部反射が起こるようにされた外部共振器型レーザに関する提案である。

【0010】格子は、レーザから十分に離れて配置されるので、縦モードが極めて近接した間隔となり、モード分配雑音を無視し得るほどの多くのモードよりなるマルチモードでレーザが動作するようになる。1995年9月26日付けでE p w o r t hらにより出願された英国特許出願第95/19614、3号は、均一化およびレーザの発振周波数の安定化に対してチャーピングされたファイバ格子を用いる提案である。

【0011】ファイバ格子装置の作製は、複雑である。上述した結晶格子と同様に、ファイバ格子は、送信機の特定の波長に一致するように作製される。それゆえ、装置は、特定の波長用となる。

【0012】別の半導体レーザの安定化システムが、M a l y o nによる、一対の同等のフォトダイオードおよび2つのビームスプリッタを用いた米国特許第4309671号に説明されている。第1のビームスプリッタおよび第1のフォトダイオードは出力パワーを監視し、第2のビームスプリッタ、周波数依存フィルタおよび第2のフォトダイオードは波長変化を監視するのに使用される。同等のフォトダイオードの出力は、増幅器を介して差動増幅器へ送られ、その差動増幅器の出力が、レーザの動作を制御する増幅器へ負帰還されて供給される。

【0013】他の公知のシステムは、ファブリー・ペロエタロンのようなフィルタ素子に基づいている。例えば、B e c k e rらによる米国特許第5331651号は、レーザ出力の粗調整を行うための格子とともに、微調整を行うためにファブリー・ペロエタロンを使用することを提案している。

【0014】E d aらによる米国特許第5438579号に説明されたシステムでは、半導体レーザのピークに固定するのに使用される信号を生成する単一の光検出器とともに、ファブリー・ペロエタロンが使用されてお

5

り、コリメートビームを必要としている。H i l lらは、米国特許第4839614号において、ファブリー・ペロエタロンのようなフィルタ素子および対応する数の検出器を用いて、参照光に対して、複数の光源から放出された光の周波数を参照するシステムについて説明している。

【0015】レーザの発振波長の安定化に対する別のシステムが、種々の波長のレーザの出力を分光処理するとともに、画像処理装置を用いて空間的な分布を測定し、しかる後、その分布を固定波長の参照光源の分布に対して比較するようにした、N a k a t a n iらによる米国特許第4914662号に説明されている。ここで用いられる画像処理装置は複雑であり、安価で小型の装置には向かない。

【0016】特願平4-157780号は、半導体レーザ用の周波数安定化装置に関する発明であり、その発明は、外部の変調手段を用いておらず、そしてレーザ源が付随する傾斜したファブリー・ペロエタロンと、送信信号と反射信号をそれぞれ検出する2つの光検出器を用いている。それら2つの検出器の出力の差分より、発振周波数を制御する信号が得られる。調整のために傾斜角が可変になっているエタロンの傾きを変えることによって、共振器の長さが変わる。

【0017】このシステムを最小限の大きさで実施するには、比較的大きな傾斜角でファブリー・ペロエタロンを用いる必要があるが、そうすると中心波長および帯域幅の点で安定性が低くなってしまう。他方、ファブリー・ペロエタロンの傾斜角を小さくすると、特願平4-157780号の明細書に添付された図面の図1Bに示されているように、他の構成要素を付加する必要があり、大きくなってしまう。また、異なる応答および経時劣化の特性を有する独立した検出器が用いられる。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、種々の既存の波長安定化システムは、結晶格子、ファイバー格子またはエタロンに基づく装置を用いている。格子を用いた装置は、波長の制御性が十分でなく、かつ多くのシステムは、レーザ源のパッケージに対して比較的大きな外部制御ユニットを用いており、電力消費と大きさの両方の点で問題がある。一方、エタロンを用いたシステムは、波長制御性がよいが、公知の形態はいずれも十分に小さくはないため、設計変更することなく周知の標準パッケージに取り付けることはできない。

【0019】本発明は、小型の波長監視制御装置、好ましくは小型の半導体レーザパッケージ内に集積可能であるとともに、WDM光伝送システムに適用可能な波長監視制御装置を提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明の1つによれば、発散するレーザ光の放出源を備えた光システムに対する

6

波長監視制御装置であって、互いに所定距離だけ離れ、かつ前記放出源から所定距離の所に配設された第1および第2の光検出器と、前記放出源と前記検出器との間に配設され、かつフィルタの波長透過率の角依存性を提供するために前記放出源の光軸に対して角度 θ で傾斜されたファブリー・ペロ構造の透過帯域幅の狭い波長選択透過フィルタ素子と、前記放出源の波長変化に対応して、同放出源の制御手段に、前記第1および第2の光検出器に基づいて生成された差信号をフィードバックするための制御ループとを具備する波長監視制御装置が提供される。

【0021】従って、簡素で小型のレーザ放出源用波長監視制御装置が提供される。光検出器は、傾斜された透過帯域幅の狭いフィルタを介して、わずかに発散するビームでもって照射される。従って、レーザ放出源の種々の波長は、2つの光検出器において、異なる光電流の変化に変換される。入力ビームの波長は、相対的な応答により監視される。2つの検出器の異なる出力信号は、放出源の波長を所望の目標波長に安定化させるためのフィードバックループに使用される。つまり、レーザ(送信機)へ送り戻される信号を介して、例えば活性領域の温度変化すなわち電流変化によって、波長のドリフトを正すようになっている。

【0022】この装置は、波長の安定化用の制御信号を供給するために、正確な光学的な波長監視を行うことを可能とし、例えばWDM光通信システムに使用される際に、レーザの波長を、クロストークを低減するのに必要な限られた範囲内に維持することができる。また、差信号により、出力パワーの変動が抑制されるという利点がある。

【0023】透過帯域幅の狭い波長選択透過フィルタ素子は、ファブリー・ペロ構造であることが要求される。好ましくは、光検出器は、同等の対をなすフォトダイオードであるといよい。ファブリー・ペロエタロンの波長透過率が入射ビームの入射角度に依存することによって、放出源から放出された種々の波長は、透過損失に変換され、そして波長変化はパワー変化として検出される。従って、このデバイスは、検出器が光エネルギーを、光源を制御するためのフィードバックループに供給される電流に変換する光波長弁別器として機能する。波長を安定化するために、2つの光検出器の異なる出力が、レーザ源の波長を所望の目標波長に安定化させるためのフィードバックループに使用される。

【0024】利点として、所定波長の調整を行うために、フィルタの傾斜角は調整可能になっている。波長選択フィルタ素子がファブリー・ペロエタロンであり、その透過特性が入射ビームに対するエタロンの角度に依存するので、この装置は、エタロンの角度を調整することによって、波長の調整を行うようになっている。また、複数の波長に対して、例えば4nm間隔の、エタロンの

複数の透過ピークを用いることができる。すなわち、ファブリー・ペロフィルタを特徴づける複数の透過ピークの波長間隔によって決まる複数の所定波長に対して、同時に安定化する点が達成される。

【0025】この装置は、波長を安定化するためのファイバー格子システムの作製と比較して、その作製が容易である。この方法は、ジッタのない弁別方法を提供するとともに、周波数変調および復調のステップを不要とする。

【0026】都合のよいことには、光検出器は、同等の対をなすフォトダイオードである。2つの光検出器のそれぞれの利得が独立して調整可能である場合には、それら2つの光検出器に対して等しくない利得を設定することにより、所定波長が選択され得る。

【0027】加えて、レーザ放出源の発散を制御するために、放出源と透過フィルタ素子との間にレンズが設けられている。ビームの発散は、性能およびパワーの検出を最適化するために、制御される。スポットサイズがより大きければ、より効率よくパワーが伝達するために、より理想的なフィルタ形状となり、好ましい。

【0028】レーザ放出源は、半導体レーザの出力端面であってもよいし、あるいは、劈開もしくは端面が傾斜されたシングルモードファイバーであってもよい。

【0029】都合のよいことには、レーザ放出源が、パッケージ内に収納された半導体レーザでできている場合には、波長監視装置は前記パッケージと同一のパッケージ内に収納されていて、集積化された装置となっている。この装置を外部の関連装置として用いることも可能であるが、偏光依存性を回避するために、理想的には、偏光状態を保持するファイバーまたはカプラーが必要となる。

【0030】従って、本発明の他の1つによれば、レーザ放出源の波長を安定化するための波長監視制御装置であって、パッケージと、そのパッケージ内に集積されてなる、所定の直径および隔離距離を有し、かつ発散する前記レーザ放出源から所定距離の所で同一平面上に配設された第1および第2の光検出器と、前記放出源と前記検出器対との間に、前記放出源の光軸に対して角度 θ で傾斜して配設され、それによってフィルタの透過強度が波長に依存して前記レーザ放出源の所望の波長に集中するファブリー・ペロ構造の透過帯域幅の狭い波長選択透過フィルタと、レーザ放出源の波長を制御するフィードバックループを介して信号を供給するために、前記第1および第2の光検出器に基づいて、前記波長選択フィルタによって透過された波長の変化に依存する差信号を生成する手段とを具備する波長監視制御装置が提供される。

【0031】監視装置が簡素で小型であるため、既存の送信機モジュール、すなわち標準レーザパッケージ内のレーザ源と一緒に、この装置が共通のパッケージ内に収

納されるという重大な利点がある。このことは、既存の送信機モジュールを、単一波長の伝送システムに対して使用されるように、WDM用の付加的な構成要素として、新たなスペースを必要とせず、かつ既存システムの設計変更を最小限に抑えつつ、使用するために適用するのに極めて有効である。

【0032】WDMシステムに対して要求される寿命を満たすために、この装置の長期間の信頼性が期待される。

10 【0033】

【発明の実施の形態】以下、この発明に係る波長分割多重光伝送システム用の波長監視制御装置に係る実施の形態を図面を参照して詳細に説明する。

【0034】図1には、本発明の第1実施形態による波長監視装置10の一部が示されている。その波長監視装置は、レーザ放出発散源12、すなわち図に示すように、DFBレーザの半導体レーザ端面14またはシングルモードファイバー(SMF)の出力端面を備えている。光学レンズ16は、レーザ源の出力光の発散を制御するためのものであり、そのレンズを介して、レーザ源の出力光は、狭い帯域を通過させる波長選択透過フィルタ素子18へ向けさせられる。

【0035】そのフィルタ素子は、好ましくは、対向する一対の高反射層の間にスペーサ層が挟まれてなる構造のファブリー・ペロ(以下、FPと略記する)共振器であるとよい。その共振器は、例えば、ガラス基板上に絶縁性の鏡/スペーサ/鏡の構造が堆積されてなる多層膜の単一共振器フィルタタイプとして構成されている。あるいは、ガラス製のスペーサ板の両面に鏡が堆積されてなるソリッドエタロンタイプが使用される。

【0036】フィルタ素子18を透過した発散光は、特定の直径を有し、かつ所定距離だけ離されて同一平面上に配置されてなる同様構成の第1光検出器(P_1)20および第2光検出器(P_2)22へ向けられる。それら光検出器(P_1 , P_2)20, 22は、図1に概略的に示すように、FPエタロンから所定距離だけ離れた共通支持体24に固定されている。

【0037】光源の波長は、FPフィルタを透過するビーム量を決めるので、各検出器20, 22で受光される信号は、光源から放出される光の波長に依存している。従って、ファブリー・ペロエタロンの波長透過率の依存性によって、光源から放出された種々の波長の光の透過強度が変わり、波長の変化は2つの光検出器によりパワー変化として検出される。2つの光検出器から出力された信号は、差動増幅器26において、レーザ源の出力波長を制御するためのフィードバックループ28へ供給される差信号を生成するのに用いられる。

【0038】両光検出器によって検出された伝送強度が所定の選択波長で同じであるようにされていることによ

50 って、その所定の波長すなわち固定波長で差信号がゼロ

なるようにセットされる。固定波長は、等価安定状態 (with equivalent stability)でもって、光検出器 P_1 、 P_2 に対する等しくない利得を用いて異なる値に対してセットされ得る。レーザ源の波長が変化した場合、2つの光検出器により生成された差信号、すなわちエラー信号は、波長に依存し、光源の波長監視に用いられる。それゆえ、このデバイスは、光検出器が光エネルギーを、レーザ源を制御するためのフィードバックループに供給される電流に変換する光波長弁別器として機能する。

【0039】図2および図3には、透過曲線および2つの検出器により生成される差信号の概略がそれぞれ示されている。図2は、2つの検出器の伝送強度の曲線を表しており、 T は光源から検出器までの伝送強度であり、 T_1 および T_2 は、波長 λ_1 および λ_2 の時に最大伝送強度 T_{1M} 、 T_{2M} となる個々の検出器 P_1 および P_2 に対する伝送曲線を表している。図3は、2つの検出器の各伝送強度に基づく差信号を表している。所望の固定波長にて、固定点 λ_R における差信号の傾き S_R は、次のように表される。

$$【0040】 S_R = \Delta (T_1 - T_2) / \Delta \lambda$$

【0041】そして、例えば2つの光検出器の等しくない利得を用いて制御を行う場合に、 λ_1 と λ_2 との間の線形に近似される領域が制御の有効範囲となる。

【0042】図4には、シングルモードファイバー等の発散光放出源、レンズ、フィルタおよび対をなす光検出器を有する装置に対する座標および幾つかの関係のある形状のパラメータが示されている。図5には、DFBレーザの波長安定化に対して設定された装置および試験装置の一例の概略が、制御ループを含めて示されている。

【0043】図5において、波長安定化装置は、レンズ116、FPエタロン118および一對のPINダイオード120、122を備えており、DFBレーザ源112とともに、標準の14ピンパッケージ等の単一のパッケージ128内に収納されている。同等のダイオード対120、122は、同一平面上に位置し、共通支持体124上に互いに近接して設置されている。2つのダイオードから出力された信号は、レーザの出力波長を制御するためのレーザコントローラにフィードバックされる差信号を生成するために、差動増幅器130へ送られる。

【0044】図5に示された他の構成要素は、最適な構成のプロトタイプを設計するのに使用される試験装置を含んでいる。好ましくは、レンズ116用の取付台117およびFPエタロン118用の取付台119は、調整可能となっている。FPエタロンの傾斜角 θ_x を変えることによって、以下に説明するように、目標とする波長の調整を行うことができる。

【0045】図4に示すように、発散源13は、一般に、楕円状 (レーザの場合) または円形状 (シングルモードファイバーの場合) のガウスパターンを有してい

る。

【0046】ファブリー・ペロエタロンは、厚さ t 、屈折率 n 、エネルギー反射率 R 、内部透過率 A 、FPの設計および要求される固定波長 λ_R の選択により決まる、 x 軸に対する傾斜角 θ_{xFP} 、並びに 0° となるように適宜選択される、 y 軸に対する傾斜角 θ_{yFP} のパラメータを有している。2つの検出器は、適当に選択されてなる、名目上の y 軸の $y_{01}=0$ および $y_{02}=0$ の位置にある。

10 【0047】他の寸法等のパラメータは、これらのパラメータおよび所望の仕様、すなわち必要とされる伝送曲線にしたがって選択される。

【0048】これらのパラメータは、レンズの焦点距離 f 、 z 軸方向の位置 S_1 、 x 軸に対するレンズの傾斜角 θ_{xL} 、 y 軸に対するレンズの傾斜角 θ_{yL} 、エタロンの z 軸上の位置 z_{FP} 、並びに検出器が円形状の場合には、光検出器の半径 r 、それらの z 軸上の位置 z_0 、および x 軸上の位置 x_{01} 、 x_{02} を含んでいる。

20 【0049】各検出器の直径はそれぞれ d_1 、 d_2 であり、その対をなす検出器は、同一平面上に位置し、かつそれらの中心同士は距離 D だけ離されており、光源から距離 l のところに配置されている。FPフィルタは、2つの検出器の平面に対する法線から θ の角度で傾斜している。

【0050】この装置の特性に影響を及ぼす要因には、FPエタロンの x 軸および y 軸における傾斜角、FPの温度による屈折率の変化、検出器の x 軸および y 軸とのずれ量、レンズの位置および傾き、並びに検出器の z 軸方向の位置が含まれる。 T は、光源から検出器までの伝送強度であり、検出器の大きさが制限されていることによる結合損失を含んでいる。

30 【0051】所望の固定波長 λ_R は、特定の目標値、例えば1557.0nmである。 T_{1R}/T_{1M} および T_{2R}/T_{2M} の比は、1次近似に対して $1/2$ となるように指定される。また、固定点 S_R における傾きは、ループの利得に影響を与えるため、重要である。一般には、急峻な傾きが要求される。 $\lambda_2 - \lambda_1$ は、 T_1 と T_2 が比較され得る調整範囲を表している。 T_{1M} と T_{2M} により、絶対的なパワーの評価が可能であり、それゆえ、与えられた検出器特性に対する S/N 比の評価が可能となる。

40 【0052】この装置は、フィルタ素子の傾斜角 θ 、例えば図5に示す傾斜角 θ_x を変えることによって、波長調整を行うことができるようになっている。ここで、フィルタ素子、すなわちエタロンは、角度調整を含む4つの自由度を有する可動性の取付台に固定されている。試験装置においては、レンズも3方向に移動可能になっている。そのフィルタおよびレンズを含む構成要素は、一旦、この装置が特定の目標波長に合わせられると、薄い粘着層を用いて適切に固定される。

50 【0053】モジュール調整段階で波長調整を行えるこ

とは、周知の格子に基づく波長制御装置よりも優れた利点を有する。

【0054】さらに、ファブリー・ペロフィルタの透過性は、規則的な波長間隔の一連の透過ピークにより特徴づけられるため、例えば4nm間隔で同時に安定化する点が複数の所定の波長に対して達成される。その複数の所定の波長は、ファブリー・ペロフィルタの特徴を示す複数の透過ピークの波長間隔によって決まる。

【0055】従って、波長弁別手段として最小限の必須構成要素は、透過する帯域幅が狭いフィルタ（エタロン）と、近接して離れて配置された2つの検出器、好ましくは同等の対をなす光検出器と、その一対の光検出器に基づく差信号にตอบสนองする制御ループである。ファブリー・ペロエタロンは、波長選択フィルタ素子の適切な特徴を提供するのに必要とされる。

【0056】例えば、光源は、DFBレーザ等の半導体レーザの前端面、またはシングルモードファイバーの劈開もしくは傾斜された終端であってもよい。必要に応じて、放出源の発散は、図1に示すように、レンズにより制御される。そのレンズは、ガラスもしくはプラスチック製の、何らかの適切な非球面レンズ、円筒レンズ、球面レンズまたは分布屈折率レンズであってもよい。スポットサイズがより大きければ、フィルタは所望形状により近い形状になり、検出器へパワーをよりよく伝達する。または、もし放出源の発散がこれらの要求を十分に満足する場合には、この装置では、レンズが不要となる。コリメート光は不要であり、構成要素の数および装置の規模を低減する可能性を有する。

【0057】上述した装置においては、装置の構成が小型で簡素であるため、レーザ源とともに標準のレーザ送信機用パッケージ内に収納することが可能になっている。このことは、既存のシステムと集積化することに対して特に優れている。同様な構成により得られる利点の幾つかは、レーザ源に対する外部ユニットの場合にも得られるかもしれないが、外部ユニットに対して結合する場合には、偏光状態に依存性があるため、偏光状態を保持するカップラーまたはファイバーが好ましい。

【0058】従って、レーザ源から放出されて、近接して離れて配置された2つの光検出器へ向かう非コリメート光を透過する、狭帯域幅の波長選択透過フィルタ素子、例えばファブリー・ペロエタロンを備えてなる、レーザ放出源に対する簡素で小型な波長監視制御装置が提供される。波長を安定化するために、波長の変化に伴うフィルタ素子の透過強度の変化により生成された、2つの光検出器の異なる出力が、レーザ源の波長を所望の目標波長に安定化させるためのフィードバックループにおいて使用される。

【0059】レーザ源に対するファブリー・ペロエタロ

ンの傾斜角を変えることによって、波長の調整を行うことも可能である。このシステムは、小型であり、かつレーザ放出源と同じパッケージ内に一緒に収納可能であるため、結合、大きさおよびパワー消失といった従来の半導体レーザ波長制御用の外部ユニットに共通した問題を解決することができる。

【0060】以上、特定の実施形態について詳細に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した範囲内で、種々変更可能であることはいうまでもない。

【0061】

【発明の効果】以上、説明したとおり、本発明に係る波長分割多重光伝送システム用の波長監視制御装置にあっては、小型であり、かつレーザ放出源と同じパッケージ内に一緒に収納可能であるため、結合、大きさ及びパワー消失といった従来の半導体レーザ波長制御用の外部ユニットに共通した問題を解決することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態による波長監視装置の要部を示す概略図である。

【図2】2波長での信号に対するエタロンの透過曲線を表す特性図である。

【図3】第1および第2の光検出器の出力信号の差信号を表す特性図である。

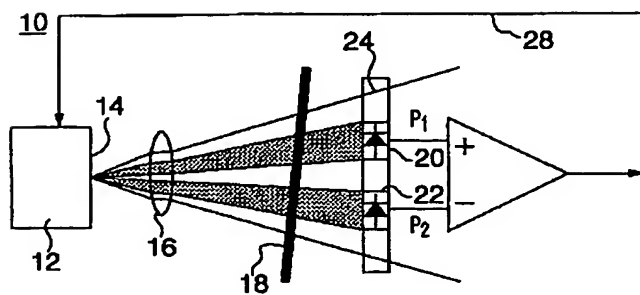
【図4】図1に示す波長監視装置と同様な構成の装置を、その装置の座標および設計寸法とともに示す要部概略図である。

【図5】本発明の第2実施形態による波長安定化装置に対する試験システムの概略図である。

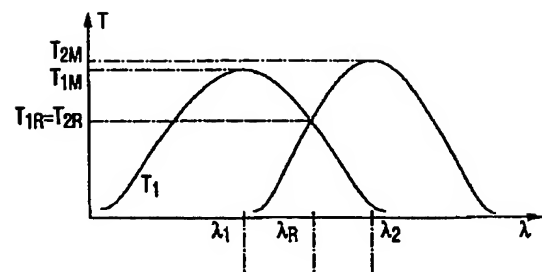
【符号の説明】

- 10 波長監視装置
- 12 レーザ放出发散源
- 13 発散源
- 14 半導体レーザ端面
- 16 光学レンズ
- 18 波長選択透過フィルタ素子
- 20 第1光検出器(P1)
- 22 第2光検出器(P2)
- 24, 124 共通支持体
- 26, 130 差動増幅器
- 28 フィードバックループ
- 112 DFBレーザ源
- 116 レンズ
- 118 FPエタロン
- 120, 122 PINダイオード
- 128 パッケージ
- 117 レンズ取付台
- 119 FPエタロン取付台

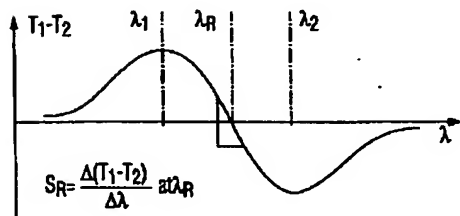
【図1】



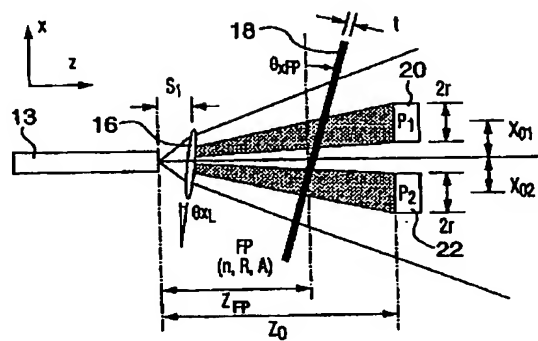
【図2】



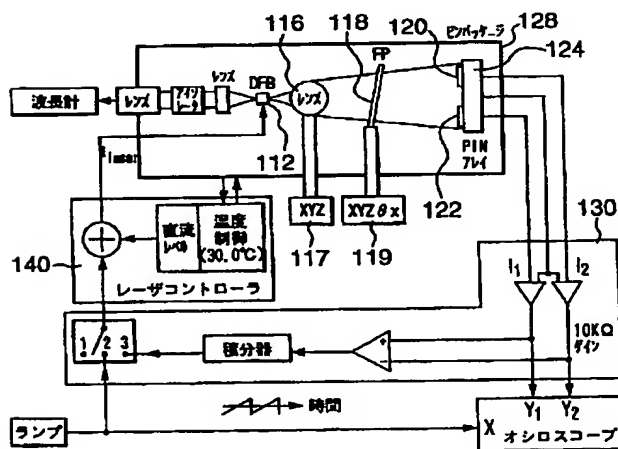
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

H 0 4 B 10/06

10/04

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

(72)発明者 ベルナール ヴィルヌーブ
カナダ国, ジェイ9 ジェイ 2 アール8,
ケベック、エイルメール, アルベール・カ
ミュ 33

(72)発明者 ヒュング ビー. キム
カナダ国, オンタリオ, カナタ, ホルゲー
ト クレセント 2

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-257419
(P2001-257419A)

(43)公開日 平成13年9月21日(2001.9.21)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード [*] (参考)
H 0 1 S 5/0683		H 0 1 S 5/0683	2 H 0 3 7
G 0 2 B 6/42		G 0 2 B 6/42	5 F 0 7 3
H 0 1 S 5/022		H 0 1 S 5/022	
5/024		5/024	
5/50	6 3 0	5/50	6 3 0
審査請求 有 請求項の数19 O L (全 15 頁)			

(21)出願番号 特願2000-67606(P2000-67606)

(22)出願日 平成12年3月10日(2000.3.10)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 横山 吉隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100108578

弁理士 高橋 昭男 (外3名)

Fターム(参考) 2H037 AA01 BA03 CA00

5F073 AB21 AB25 AB27 AB28 FA02

FA06 FA25 GA02 GA12 GA13

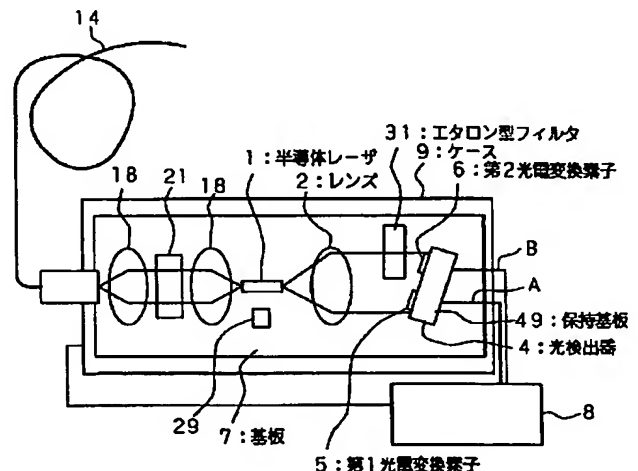
GA22 GA24

(54)【発明の名称】 波長安定化レーザモジュール

(57)【要約】

【課題】 波長が高精度に安定化されたレーザ光を出射することができる構造が簡単で小型化が可能な波長安定化レーザモジュールを得る。

【解決手段】 半導体レーザ1と、その温度を調節可能な基板7と、半導体レーザ1の出射光を平行光束に変換するレンズ2と、レンズ2を通った平行光束の一部を受光して電気信号に変換する第1光電変換素子5と、前記平行光束の一部を入射するエタロン型フィルタ31と、前記フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換素子6とを有し、第1および第2光電変換素子5、6からの電気信号を演算して得られた波長安定化のための制御信号を半導体レーザ1および/または基板7にフィードバックして前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長のレーザ光を安定して出力できるようにした。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体レーザと、前記半導体レーザの温度を調節する温度調節手段と、前記半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段と、前記平行光束の一部を受光して電気信号に変換する第 1 光電変換手段と、前記平行光束の一部を入射しその波長に依存して透過率を連続的に変化させるフィルタと、前記フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第 2 光電変換手段とを有し、

前記第 1 光電変換手段および第 2 光電変換手段からの電気信号を演算して得られた波長安定化のための制御信号を前記半導体レーザおよび／または前記温度調節手段にフィードバックして前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長のレーザ光を安定して出力できるようにしたことを特徴とする波長安定化レーザモジュール。

【請求項 2】 前記第 1 光電変換手段および第 2 光電変換手段が前記半導体レーザの後方出射光を受光するように配置されたことを特徴とする請求項 1 に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 3】 前記半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段がレンズであり、このレンズから出射した単一の平行光束の一部が前記第 1 光電変換手段に入射し、他の一部が前記フィルタに入射するようにしたことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 4】 前記平行光束の平行度が $\pm 2^\circ$ 以内とされたことを特徴とする請求項 1 ～請求項 3 に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 5】 前記フィルタが、前記基準波長を含む波長帯域内で透過率が波長に依存して単調に増大または減少する透過特性を有するものであることを特徴とする請求項 1 ～請求項 4 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 6】 前記フィルタが、入射角の調節によって、波長に依存する透過率変化の勾配を変化させ得るのであることを特徴とする請求項 1 ～請求項 5 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 7】 前記フィルタが、前記基準波長を含まない波長帯域において透過率が最大となるかまたは最小となる単峰性の透過特性を有するものであることを特徴とする請求項 1 ～請求項 6 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 8】 前記フィルタが、透明基板上に誘電体多層膜が形成された多層膜フィルタであることを特徴とする請求項 1 ～請求項 7 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 9】 前記フィルタが、一定波長間隔で透過率が極大と極小とを繰り返す透過率周期を有するエタロン型フィルタであることを特徴とする請求項 1 ～請求項 6 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

2

【請求項 10】 前記半導体レーザが温度に依存して複数の波長を発振し得る波長可変型のものであり、かつ前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔が下記の式 1 に従って設定されたことを特徴とする請求項 9 に記載の波長安定化レーザモジュール。

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \dots \text{式 1}$$

(式 1 中、D はエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D₀ は前記半導体レーザが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon} はエタロン型フィルタの温度が 1℃ 変化したときの中心波長の変化量、T_{LD} は前記半導体レーザの温度が 1℃ 変化したときの発振波長の変化量である。ただし、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つの波長を示す。)

【請求項 11】 前記フィルタが、石英ガラスより高い屈折率を有する透明基材から形成されたことを特徴とする請求項 1 ～請求項 10 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 12】 前記透明基材が Si であることを特徴とする請求項 11 に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 13】 前記フィルタが、前記第 2 光電変換手段に固定されていることを特徴とする請求項 1 ～請求項 12 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 14】 前記フィルタが、前記第 2 光電変換手段の受光面上にコーティングにより形成されたことを特徴とする請求項 8 に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 15】 前記第 1 光電変換手段と第 2 光電変換手段とが保持基板上に並列され、アレイ状の光検出器を形成したことを特徴とする請求項 1 ～請求項 14 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 16】 前記第 1 光電変換手段の受光面が、入射光の光軸から傾斜して配置されたことを特徴とする請求項 1 ～請求項 15 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 17】 前記半導体レーザが、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有するものであることを特徴とする請求項 1 ～請求項 16 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 18】 前記温度調整手段が、ペルチェ素子であることを特徴とする請求項 1 ～請求項 17 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 19】 レーザ光出力手段として光ファイバを有すると共に、少なくとも前記半導体レーザと温度調節手段と平行光束に変換する手段とフィルタと第 1 光電変換手段と第 2 光電変換手段とが単一ケース内に収納されてなることを特徴とする請求項 1 ～請求項 18 のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は波長安定化レーザモジュールに関し、特に波長が高精度に安定化されたレーザ光を出射することができる、構造が簡単で小型化が可能な波長安定化レーザモジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信システムの光源として、従来から半導体レーザが用いられている。特に数10km以上の光ファイバ通信には波長分散の影響を抑えるためにDFBレーザなど単一軸モードの半導体レーザが用いられている。ところで例えば前記DFBレーザは、単一の波長で発振するとはいえ、その発振波長は温度や注入電流によって変化する。また光ファイバ通信システムにおいては、光源の出力強度が一定であることも重要であるので、これまでの光ファイバ通信システムにおいては、一般に半導体レーザの温度および光出力を一定にするような制御が行われてきた。基本的には半導体レーザの温度と注入電流とを一定に維持すれば光出力と発振波長とは一定に保たれる。しかし、半導体レーザが長期間の使用により劣化すると、光出力を一定に保持するための注入電流が上昇し、これに伴って発振波長が変化するようになる。ただ、この波長の変化量は僅かなので、従来の光ファイバ通信システムではほとんど問題にならなかった。

【0003】最近になると、1本の光ファイバに多数の波長の光を導入する高密度波長分割多重方式（以下「DWDM」という）の光ファイバ通信システムが主流になりつつあり、使用される複数の発振波長の間隔も100GHz、或いは50GHzと非常に狭くなってきている。この場合、光源となる半導体レーザに要求される波長安定度は例えば±50pmとなり、従来の素子温度一定、光出力一定という制御による波長安定化では不十分になってきた。また、素子温度を一定にする制御を行っても、半導体レーザモジュールの環境温度が変化すると発振波長が僅かに変化し、この僅かな変化量が問題になる場合も増えてきた。

【0004】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化するために、従来からいくつかの波長安定化手段が提案されている。これら波長安定化手段の第1の従来例として特開平10-209546号公報は、図19に示すように、半導体レーザモジュールとは別体のケースに収納された波長安定化装置128を開示している。この波長安定化装置128は、光ファイバ伝送路108からカブラ109によってレーザ光の一部が分岐して導入される。この波長安定化装置128にはバンドパスフィルタとなるフィルタ103が内蔵されていて、このフィルタ103の透過光を検出する光検出器111と反射光を検出する光検出器110とが対向配置されている。この場合光検出器110、111は、半導体レーザの発振波長に対して図20のようにそれぞれ位相が反転した受光強度を出力する。そこで図20に矢印で示した交点が安定化すべき

目標の波長となるようにフィルタ103、および光検出器110、111を調整しておき、2つの光検出器110、111の検出強度が等しくなるように図示しない半導体レーザの温度制御手段にフィードバックすることで、半導体レーザの発振波長を安定化させる。またフィルタ部分には、安定化の目標とする基準波長を設定するためのスライド調整機構112が設けられている。

【0005】この波長安定化装置128は、基本的に半導体レーザモジュールとは別体のケースに収納されているので別途に設置スペースが必要になることや、コストが大幅に上昇するなどの問題がある。また、安定化のためにカブラ109によって信号光の一部を分岐するので、その分信号光の光パワーが減衰する。更に、スライド調整機構112によりフィルタ103の位置を調整するのみで目標とする基準波長の設定を行うことができる点は優れているが、この機構を実現するためには、フィルタの面内で徐々にフィルタの膜厚を変化させることで面方向の透過特性を変化させるように加工した非常に特殊で高価なフィルタを用いる必要がある。また、一般的にフィルタの透過特性はフィルタの温度によって変化するので、フィルタ103を別途に温度調節するか、または温度による透過特性の変化を補償するような特別な電気回路が必要になる。

【0006】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化する第2の従来例として、特開平4-157780号公報は、図21に示す波長安定化装置を開示している。この波長安定化装置は、基本的な波長安定化の原理は第1の従来例と同様であり、信号光の一部を分岐してフィルタ103に照射し、フィルタ103の反射光と透過光とをそれぞれ光検出器110、111で検出して演算し、図示しない半導体レーザの温度制御手段にフィードバックする。第1の従来例と異なる点は、安定化の目標とする基準波長を設定するために周波数設定部113を設け、この周波数設定部113によってフィルタ103の角度を調整することにある。

【0007】しかし第2の従来例において、フィルタ103の角度を調整すると、フィルタ103の反射光の方向が変化するので反射光を検出する光検出器110の位置も同時に調整する必要が生じる。第2の従来例では、フィルタ103の角度を調整する以外に、フィルタ103の温度を調整する方法、フィルタ103の電気光学効果を変化させる方法なども開示されているが、これらはいずれも実用化が困難である。

【0008】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化する第3の従来例として、特開平9-219554号公報は、図22に示す波長安定化装置を開示している。この場合、第1の従来例および第2の従来例とは異なり、半導体レーザ101からの光を波長依存性のないビームスプリッタ115で分岐し、分岐されたそれぞれの光を受光する2つの光検出器110および光検出器111の前

5

に、それぞれ光の波長に依存して透過率が減少するフィルタ 117 および光の波長に依存して透過率が増加するフィルタ 116 を設置している。この結果、第 1 および第 2 の従来例と同様に 2 つの光検出器 110、111 からの信号のバランスを調整することで半導体レーザ 101 の波長安定化を行うことができる。この方法においても特定の波長を合わせるためにフィルタ 117、116 の角度を調節する手段などが必要であるが、この方法では 2 つのフィルタ 117、116 に対していずれも透過光を用いているため、角度調節を行う際、検出器 110、111 の位置を調整する必要がない利点がある。

【0009】しかし、スペースの限られた半導体レーザモジュールのケース内に図 22 に示すようにビームスプリッタ 115、およびそのレーザ発振光の光軸とは垂直方向にフィルタ 117、検出器 110 を設置することは実際上極めて困難である。また実際には半導体レーザ 101 からの出射光をレンズなどにより平行光束に収束するような光学系を用いないと波長安定化を行うために十分なフィルタ透過光を得ることが困難になる。この理由として、半導体レーザ 101 は比較的大きな放射角で光を出射しているため、半導体レーザ出射面から光検出器 110、111 までの距離が遠くなるに従い光検出強度が急激に低下することが挙げられる。また、図 23 に示すように、検出感度を上げるために光検出器 104 の受光面積を大きくすると、これに伴ってフィルタ 103 への入射面積も大きくなり、フィルタ 103 に入射する光の入射角に位置による大きな差が生じる。すなわち光線 A と光線 B との入射角の差が大きくなる。ここで用いられる波長フィルタは、多層膜型であれエタロン型であれ、透過特性は光の入射角に大きく依存する特性を有することから、多層膜型の例を図 24 に示すように、フィルタ 103 への入射角が大きく異なる光線 A と光線 B とでは透過特性が大きく異なり、放射されたレーザ光全体では受光強度の波長依存性が相殺されて小さくなるか、波長依存性がなくなってしまう場合もある。この問題を回避するために、半導体レーザ 101 からの出射光を平行光束に収束する必要がある。しかしこの場合は部品点数が増加し、平行光束に収束するためのレンズ、フィルタ 116、117、ビームスプリッタ 115、光検出器 110、111 など、それぞれの部品の位置の調整も煩雑になり製作コストが増大する。

【0010】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化する第 4 の従来例として、特開平 10-79723 号公報は、図 25 に示す波長安定化装置を開示している。この波長安定化装置は、波長に依存して透過率が増大する信号と波長に依存して透過率が減少する信号とを得るために、レンズ 102 を用いて半導体レーザ 101 からの出射光を或る特定の拡散角となるように調整し、この拡散光を傾斜させたフィルタ 103 に入射させ、その透過光を 2 つの受光面 105、106 を有する光検出器 104

6

で検出するようになっている。ここで受光面 105 と受光面 106 とに入射する光は、フィルタ 103 に入射する時点で入射角がそれぞれ異なっているため、1 枚のフィルタで異なる透過特性を得ることができる。

【0011】しかしこの第 4 の従来例においては、光学系に精密な角度調整が必要であり、2 つの受光面 105、106 で得られるフィルタ透過光の特性は、レンズ 102 の位置の微小な変化に伴う半導体レーザ光の拡散角の変化、フィルタ 103 の角度変化、光検出器 104 の位置の変化などによって複雑に変化する。すなわち、受光面 105 および受光面 106 に入射するときのフィルタ透過特性を独立に制御し、特定の波長に安定化させるためには、上記の各部品の配置をそれぞれ高精度に設定する必要がある。例えば、フィルタ 103 の角度を調整するだけでは任意の波長を安定化するように調整することができないので、実際の装置製作には大きな問題が生じる。

【0012】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化する第 5 の従来例として、特開平 9-12107 号公報は、図 26 に示す波長安定化装置を開示している。この波長安定化装置は、半導体レーザ 101 からの後方出射光をビームスプリッタ 115 によって分岐し、一方の分岐光はフィルタを通さずに直接光検出器 110 に入射して光強度検出用に用い、他方の光はフィルタ 103 を通して光検出器 111 に入射し波長検出用に用いている。この場合、フィルタ 103 を通さない光を検出する光検出器 110 の光電流が一定になるように制御することによって半導体レーザの出力を一定に制御することができる。一方フィルタ 103 を通った光は、図 5 にフィルタ 103 の透過率の波長依存性すなわち光検出器 111 における光電流 I の波長依存性を示すように、波長検出用の信号となる光検出器 111 からの出力電流をある一定値 I₀ に安定化することで、光出力と発振波長とを同時に制御することが可能となる。

【0013】しかし限られたスペースのケース内に、半導体レーザの出力光学系と共にビームスプリッタ 115 を含む波長安定化のための光学系を組み込むことはスペース的に極めて困難である。また第 3 の従来例と同様に、実際には半導体レーザの出射光を平行光束に収束するような光学系を用いないと、波長安定化を行うために十分なフィルタ透過光を得ることが困難になる。そこで光学系にレンズを挿入すると、このために部品点数が更に増加し、レンズ、フィルタ、ビームスプリッタ、検出器など、それぞれの部品の配置調整も煩雑になって製作コストが増大する。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】前記のように、従来の半導体レーザの波長安定化装置は、いずれも部品点数が多く、所要スペースが大きくなり、従来から一般に用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収納す

ることが困難であるばかりでなく、安定化の目標とする基準波長の設定が非常に難しく、製作コストが増大するなどの課題があった。本発明は前記の課題を解決するためになされたものであって、従ってその目的は、従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収納できる程度にきわめてコンパクトで、部品点数が少なく、しかも製作時には安定化の目標とする基準波長を極めて容易にかつ高精度に設定することができる、低コストの波長安定化レーザモジュールを提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】前記の課題を解決するために本発明は、半導体レーザと、前記半導体レーザの温度を調節する温度調節手段と、前記半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段と、前記平行光束の一部を受光して電気信号に変換する第1光電変換手段と、前記平行光束の一部を入射しその波長に依存して透過率を連続的に変化させるフィルタと、前記フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換手段とを有し、前記第1光電変換手段および第2光電変換手段からの電気信号を演算して得られた波長安定化のための制御信号を前記半導体レーザおよび／または前記温度調節手段にフィードバックして前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長のレーザ光を安定して出力できるようにした波長安定化レーザモジュールを提供する。

【0016】本発明の前記波長安定化レーザモジュールは、第1光電変換手段が半導体レーザから出射され平行光束に変換された光束の一部を直接に受光し、前記光束の他の一部は、波長に依存して透過率を連続的に変化させるフィルタを通した後に第2光電変換手段が受光するので、第1光電変換手段では半導体レーザの光出力に依存した光電流を取り出すことができ、第2光電変換手段では、半導体レーザがその時点で発振している光の出力に依存すると共に波長にも依存して変化した光電流を取り出すことができる。従ってこの波長安定化レーザモジュールから取り出した前記2つの光電流から演算すれば、光の出力変動に依存した電流値と、波長変動に依存した電流値がそれぞれ独立に得られる。前記フィルタでは波長と透過率との関係がわかっているので、現時点で検出された波長変動に依存した電流値と、安定化の目標とする基準波長によって出力される電流値とを比較することにより、現在半導体レーザが発振している光の波長と基準波長との偏倚が求められる。半導体レーザの波長は一般に注入電流と温度とに依存して変動するので、前記偏倚量がゼロとなるような制御信号を前記半導体レーザの注入電流および／または前記温度調節手段にフィードバックすることにより、半導体レーザの波長変動を抑制し、基準波長に高精度に安定化されたレーザ光を出力することができる。もちろん第1光電変換手段では半導体レーザの光出力の変動が検知されているので、この出

力偏倚の信号を半導体レーザにフィードバックすることによって、半導体レーザの光出力も高精度に安定化することができる。本発明の波長安定化レーザモジュールは、波長に依存した信号と波長に依存しない信号とを得るために従来用いられていたビームスプリッタなどの部品を用いないので、部品点数が少なく、スペース効率が良好で従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度にきわめてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も容易であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。

【0017】前記第1光電変換手段および第2光電変換手段は、前記半導体レーザの後方出射光を受光するように配置されていることが好ましい。これによって、半導体レーザの前方出射光は全量光通信のために使用することができ、従来例の一部に見られるような波長検出のために光伝送路からレーザ光の一部を分岐することによる伝送光パワーの損失は起こらない。

【0018】前記において、半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段はレンズであり、このレンズから出射した単一の平行光束の一部が前記第1光電変換手段に入射し、他の一部が前記フィルタに入射するようにされていることが好ましい。半導体レーザの出射光は一般に拡散光であるが、この拡散光をレンズを用いて平行光束に変換し、レンズから出射した単一の平行光束を横断してその横断面の一部に前記フィルタを挿入し、平行光束の一部が前記フィルタに入射するようにして光束の残り部分の光が前記第1光電変換手段に入射するようにすることで、フィルタへの光の入射角が入射部位によって異なることによる透過特性への悪影響がなくなり、より高精度の波長安定化が達成できると共に、光の拡散による前記第1および第2光電変換手段における受光強度の減少を防止することができ、しかも拡散防止のために前記第1および第2光電変換手段に向けてそれぞれ別のレンズを設置する必要がないので部品点数が節減でき、装置をコンパクトに構成できる。

【0019】前記平行光束の平行度、すなわち光軸に対する偏倚角は $\pm 2^\circ$ 以内とされていることが好ましい。これによってフィルタの部位によって入射角が異なることによる透過特性への悪影響が最小化され、極めて高精度な波長安定化が達成できるようになる。

【0020】前記フィルタは、前記基準波長を含む波長帯域内で透過率が波長に依存して単調に増大または減少する透過特性を有するものであることが好ましい。前記基準波長を含む波長帯域内で波長の変化に伴う透過率変化、すなわち透過スペクトルの勾配が単調に増大または減少しているフィルタを選択すれば、基準波長に対して長波長側または短波長側に変動するレーザ光の波長を、フィルタ透過光の明側変化または暗側変化として第2光電変換手段が直ちに検知することができる。

【0021】前記フィルタは、入射角の調節によって波

長に依存する透過率変化の勾配を変化させ得るものであることが好ましい。入射角の調節によって波長に依存する透過率変化の勾配を変化させることができれば、前記勾配を急峻にすることによって波長変動に関する検知感度を向上させ高精度の波長安定化が可能になり、一方勾配を緩徐にすれば変動を検知し得る波長帯域幅を拡大することができる。

【0022】前記フィルタは、前記基準波長を含まない波長帯域において透過率が最大となるかまたは最小となる単峰性の透過特性を有するものであることが好ましい。基準波長が透過特性の最大透過帯または最小透過帯にあると、波長変動に対する感度が著しく低下する。フィルタの透過特性が単峰性であれば、半導体レーザの発振し得る波長帯域内で、存在したとしても僅かな帯域である最大透過帯または最小透過帯を除いて、広い波長帯域で高感度の波長検出が可能となる。

【0023】前記フィルタは、透明基板上に誘電体多層膜が形成された多層膜フィルタであることができる。多層膜フィルタはガラス基板の厚さを任意に設定することができるので、基板を薄くしてコンパクトな構成にできる利点がある。

【0024】また前記フィルタは、一定波長間隔で透過率が極大と極小とを繰り返す透過率周期を有するエタロン型フィルタであることができる。エタロン型フィルタは半導体レーザの発振し得る波長帯域内に複数の極大点と極小点とを有するので、各極大点と極小点とを結ぶスペクトルの勾配にそれぞれ基準波長を設定することができ、単一の装置で波長可変型半導体レーザを光源として用いる多重光伝送システムにおける複数の基準波長の安定化を実現させることができる。

【0025】前記半導体レーザは、温度に依存して複数の波長を発振し得る波長可変型のものであり、かつ前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔は、下記の式1に従って設定されていることが好ましい。

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \dots \text{式 1}$$

前記式1中、Dはエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D₀は前記半導体レーザが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon}はエタロン型フィルタの温度が1℃変化したときの中心波長の変化量、T_{LD}は前記半導体レーザの温度が1℃変化したときの発振波長の変化量である。ただし、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つの波長を示す。温度に依存して波長を変化させ得る半導体レーザを用い、前記式1に従って前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔を設定すれば、多重光伝送システムに用いられる複数の基準波長が前記透過率周期の極大点と極小点とを結ぶスペクトル勾配に配位するように設定することができ、これによって半導体レーザが発振する各波長を単一の波長安定化装置で安定化することができる。

【0026】前記フィルタは、石英ガラスより高い屈折

率を有する透明基材から形成されていることが好ましい。この石英ガラスより屈折率が高い透明基材はSiであることが好ましい。例えばエタロン型フィルタや多層膜フィルタの基材として従来から用いられている石英ガラスより屈折率が高い透明基材を用いれば、フィルタの厚さをより薄くすることができ、装置の所要スペースを一層縮小することができる。Siは透明で屈折率が石英ガラスより高く、かつ半導体分野で広く用いられている比較的安価な基材であるから、本発明に用いるフィルタの基材として好適である。

【0027】前記フィルタは、前記第2光電変換手段に固定されていてもよく、また第2光電変換手段の受光面上にコーティングにより形成されていてもよい。これらの場合はいずれも、フィルタを別体として組み込む場合に比べ、一層コンパクトな装置が得られる。

【0028】前記第1光電変換手段と第2光電変換手段とは保持基板上に並列され、アレイ状の光検出器を形成していることが好ましい。本発明の波長安定化レーザモジュールにおいては、第1光電変換手段と第2光電変換手段との間で煩雑な角度あわせを必要としないので、これらと同じ保持基板上に並列した光検出器として用いれば部品点数も組立て工数も削減され製造コストを低減することができる。

【0029】前記第1光電変換手段の受光面は、入射光の光軸から傾斜して配置されていることが好ましい。これによって、第1光電変換手段の受光面から半導体レーザへの反射戻りが排除され、戻り光による半導体レーザの発振特性の変化を抑制することができる。

【0030】前記半導体レーザは、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有するものであることができる。半導体レーザが電界吸収型半導体光変調器と集積されていると、一般に用いられているDFBレーザと外部変調器とを別個のモジュールとして構成する場合に比べ、光伝送システム全体をコンパクトに構成できるようになる。

【0031】前記温度調整手段は、ペルチェ素子であることが好ましい。ペルチェ素子は任意の温度範囲で電子制御によって温度を精密に設定できると共に、肉薄に構成されているのでモジュール基板と密着してケース内にコンパクトに収容できる。

【0032】本発明の波長安定化レーザモジュールは、レーザ光出力手段として光ファイバを有すると共に、少なくとも前記半導体レーザと温度調節手段と平行光束に変換する手段とフィルタと第1光電変換手段と第2光電変換手段とが単一ケース内に収納されてなることが好ましい。本発明の波長安定化レーザモジュールは、波長安定化装置の部品点数が少なく調整も容易であることから、従来用いられていた波長安定化装置を付属していない半導体レーザモジュールの小型ケース内にも容易に組み込むことができる。

【0033】

【発明の実施の形態】次に本発明の実施の形態を図面を用いて具体的に説明するが、以下の実施形態は本発明を何ら制限するものではない。

（実施形態1）本発明の実施形態1の波長安定化レーザモジュールを図1に示す。この波長安定化レーザモジュールは、ケース9内に半導体レーザ1と、この半導体レーザから拡散放射される後方出射光を平行光束に変換するレンズ2と、このレンズを透過した平行光束の一部を直接受光して電気信号に変換する第1光電変換素子5と、レンズ2を透過した平行光束の一部を入射するエタロン型フィルタ31と、このエタロン型フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換素子6とを有している。

【0034】半導体レーザ1は、ペルチェ素子を備えた基板7に装着されて駆動中の温度が調節できるようになっている。エタロン型フィルタ31は、図示しない角度調節機構によって入射角が調節できるようになっている。また第1光電変換素子5と第2光電変換素子6とは、図2に示すように、保持基板49上に並列され、アレイ状の光検出器4を形成している。この光検出器4は、半導体レーザへの反射戻り光が生じないように、入射光の光軸に対して傾斜して設置されている。

【0035】この実施形態1の波長安定化レーザモジュールは、半導体レーザ1がレーザ光を放射すると、その後方出射光がレンズ2に入射して平行光束に変換され、この平行光束の一部が第1光電変換素子5に直接入射して対応する電気信号Aに変換される。また前記平行光束の他の一部はエタロン型フィルタ31に入射し、エタロン型フィルタ31は、この入射した光の波長に依存して透過率が変化した光を出射し、この出射光が第2光電変換素子6に入射して対応する電気信号Bに変換される。従って電気信号Aは、半導体レーザ1のその時点での光出力情報を担っており、電気信号Bは、半導体レーザ1のその時点での光出力情報とその時点で半導体レーザ1が発振している光の波長情報とが共に含まれた情報を担っている。このときエタロン型フィルタ31の受光面の角度を光軸に対して適切に調節すれば、電気信号Bは、安定化の目標とする基準波長を中心としてその前後の波長変動の情報を所望の感度で演算回路8に伝達する。

【0036】電気信号Aと電気信号Bとは、実施形態1の波長安定化レーザモジュールから取り出され、演算回路8に送られる。演算回路8は、電気信号Aの変動から半導体レーザ1の光出力の変動を検知し、現行出力と基準出力との差を出力偏倚信号として図示しない注入電流調節装置に連続的にフィードバックし、半導体レーザの光出力を安定化させる。また演算回路8は、電気信号Aと電気信号Bとから波長変動に依存する信号成分を取り出し、予め演算回路8内に記憶されている波長に対する透過率のスペクトルデータを参照して、半導体レーザ1

が現在発振している光波長を求め、この現行波長と安定化の目標とする基準波長との差を波長偏倚信号として生成する。半導体レーザの波長は一般に注入電流と温度とに依存して変動するので、前記波長偏倚信号は、図示しない半導体レーザの注入電流調節手段および基板7に設けられたペルチェ素子のいずれか一方または双方にフィードバックし、これによって半導体レーザ1の出力波長を安定化する。

【0037】実施形態1の波長安定化レーザモジュールは、波長に依存した信号と波長に依存しない信号とを得るために従来用いられていたビームスプリッタなどの部品を用いず、レンズも1個のみで済むので、部品点数が少なく、スペース効率が良好で、従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度にきわめてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も容易であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。

【0038】次にエタロン型フィルタ31およびその作用について詳しく説明する。エタロン型フィルタは、ファブリーペロー干渉計とも言われるように、光の干渉によって非常に狭い波長幅の光だけを透過する特性を持っている。基本構造は、図3に示すように入出射面が高精度（1/100 波長程度）に平面研磨された厚さdの平行な光学ガラスである。光は屈折率nのガラス内部で多重反射を起こす。ここで反射光と透過光が干渉することにより、図4に示すように波長に対して透過率が高い部分と低い部分を繰り返す透過特性を持つフィルタとなる。図4に示す透過率ピークの間隔はFSR（自由スペクトル間隔：Free Spectral Range）と呼ばれている。このFSRの大きさを周波数の単位で表すと、光が垂直に入射するとき、エタロン型フィルタの厚さd、屈折率n、光速cを用いて、

$$FSR = c/2nd \quad \cdots \text{式2}$$

と表すことができる。従って、ガラスの屈折率n、厚さdを選択することによってエタロン型フィルタのFSRを任意に設定することができる。

【0039】波長安定化制御を行うに際しては、図5に示すように、エタロン型フィルタの透過率が単調に減少する波長帯域、または単調に増大する波長帯域に安定化の目標とする基準波長 λ_0 が位置するように設定する。透過率スペクトル上でこの基準波長 λ_0 が位置する点を波長安定化点Sと呼ぶことにする。図5に矢印で示したように、いま或る透過率ピークの右肩で単調に透過率が減少している帯域の中間に波長安定化点Sを設定する場合を考える。このとき、基準波長 λ_0 となる波長安定化点Sでのエタロン型フィルタの透過率（の光電流換算値）をI0とすると、半導体レーザ出射光の波長が基準波長 λ_0 よりも長い時は透過率がI0よりも小さくなり、逆に基準波長 λ_0 よりも短い時は透過率がI0よりも大きくなる。このように波長安定化点

S 付近の或る波長帯域内であれば、透過率 (I) の増減から、その時点における半導体レーザ出射光の波長を検知することができる。そして、透過率 (I) が常に I₀ を保つように制御することによって、半導体レーザの出射波長を安定化させることができる。

【0040】ここで例えば半導体レーザ 1 の前方光出力が 20mW となるように、第 1 光電変換素子 5 で検出される光電流の基準値を設定し、常にこの基準値となるように半導体レーザ 1 の注入電流を制御しておく。この状態では光出力一定モードとなっている。さらに、図 5 に矢印で示した波長安定化点 S に対して、第 2 光電変換素子 6 の光電流が基準電流値 (すなわち基準透過率) I₀ となるように半導体レーザ 1 の温度を制御すれば波長安定化が実現される。この場合の制御方法はアナログ電子回路でフィードバックループを形成してもよいし、AD コンバータでデジタルデータに変換しコンピュータ上で制御回路を構築するソフトウェアフィードバックを用いてもよい。

【0041】また、図 6 (a), (b) に示すように、半導体レーザの発振波長は、素子の温度ばかりでなく半導体レーザ 1 の注入電流を変化させることでも変化し、逆に、光出力は注入電流ばかりでなく温度を変化させたときにも変化する。従って、図 1 における第 1 光電変換素子 5 の光電流を制御して光出力を一定に制御するために、注入電流と素子温度とを同時に制御するフィードバックループを用いてもよい。同様に第 2 光電変換素子 6 の光電流を制御して発振波長を一定にするために、注入電流と素子温度を同時に制御するフィードバックループを用いてもよい。

【0042】前記のように、波長安定化レーザモジュールの波長制御性は、エタロン型フィルタの透過特性に大きく依存している。特に図 7 に示すように、波長安定化点 S を含む透過率周期の肩の部分の勾配、すなわち $dI/d\lambda$ の大きさは、波長安定化のフィードバックループの利得に影響するので非常に重要である。エタロン型フィルタを用いた場合の透過特性の特徴としては、図 7 のように、エタロン型フィルタの入出射面反射率に大きく依存する。すなわち入出射面の反射率が大きい場合はデルタ関数に近い急峻なピークを持つ透過特性となり、波長安定化点 S₁ での勾配 $dI/d\lambda$ は大きくなる。ただし、このとき波長安定化が可能な波長幅は狭くなる。一方、エタロン型フィルタの入出射面反射率が小さい場合はサインカーブ的な緩やかな透過特性となり、波長安定化が可能な波長幅は広がる。ただしこのとき波長安定化点 S₂ での勾配 $dI/d\lambda$ は小さくなる。そこで、反射率を大きくすることは特に高精度の波長安定化が必要な場合に適している。反射率を小さくすることは波長安定化よりも安定化可能な波長帯域幅を大きくしたい場合に適している。

【0043】なお、上記の波長安定化が可能な波長帯域

幅を調整するためにはエタロン型フィルタの FSR を調整することが有効である。波長安定化が可能な波長幅を広くするためには、FSR を大きくし、なおかつエタロン型フィルタの入射面反射率を小さくすればよい。勾配 $dI/d\lambda$ が波長安定化を行うのに十分な大きさであれば、本発明の波長安定化レーザモジュールにおいては、任意の FSR を有するエタロン型フィルタを用いることができる。

【0044】本発明の波長安定化レーザモジュールでは、エタロン型フィルタの透過特性を入射角の調節のみで自由に変化させることができる。例えば図 8 (a) に示すように、予めエタロン型フィルタの FSR を 100 GHz (0.8nm) と非常に狭い値に設定し、入出射面の反射率も 60% 程度と高めに設定して、エタロン型フィルタ 31 受光面への平行光束の入射角を 0° とすると、波長安定化点 S_a における勾配は非常に大きくなる。ここで、エタロン型フィルタの入射角を次第に傾斜させると、エタロン型フィルタの FSR は図 8 (b), (c) のようにシフトし、さらに強くエタロン型フィルタを傾斜させると、図 8 (d) のようにピークが FSR の幅 (1 周期分) だけシフトするに至る。このとき、入射角の増加に伴ってエタロン型フィルタの入出射面反射率が低下することなどの理由から、透過特性の振幅が小さくなり、図 8 (e) に示すように波長安定化点 S_e での勾配が小さくなる。このように本発明の波長安定化レーザモジュールでは全く同一の部品構成で、単にエタロン型フィルタ 31 の角度を調整するだけで、安定化する基準波長の設定ばかりでなく、波長安定化のためのフィードバックループにおいて重要なパラメータである波長安定化点 S での勾配の調整も行うことができる。

【0045】エタロン型フィルタ 31 の角度を変化させても、光検出器 4 への光軸はずれないので、安定化する基準波長 λ_0 を設定するためには、エタロン型フィルタ 31 の入射角を調整するだけでよく、光検出器 4 の位置などは調整不要である。これは、従来例 1~4 では 2 つの波長に依存する信号の差分がゼロになる点で安定化するなど、2 つの信号レベルを調整する必要があったが、本発明の構成ではそれぞれの光電変換素子 5, 6 の信号を独立に演算回路 8 に出力するので、波長安定化レーザモジュールのケース内で 2 つの信号のレベル調整を行う必要がない。すなわち、光検出器 4 の位置ずれなどに対する許容幅が大きくなる。

【0046】ところで、本発明の波長安定化レーザモジュールが DWDM に適用される場合には、特に高い波長精度を確保することが求められる。そして高い波長精度を得るためには、前記のように波長安定化点 S における勾配を大きくすることが有効である。すなわち本発明に用いるフィルタの透過特性の振幅 (ON/OFF 比) を大きくする必要がある。ここで、例えば図 17 に示すように、レンズ 2 により収束された平行光束の平行度が悪

く、すなわち平行からのビーム偏倚角が大きく、ビームが広がり（または狭まり）を持つ場合、第2光電変換素子6が受光する光には異なる角度でフィルタに入射した光が含まれることになる。一方、例えばエタロン型フィルタには透過特性の入射角依存性があるので、光の入射角に幅がある場合にはフィルタ透過光の波長に帯域幅が生じることになる。いまこの帯域幅を「受光波長幅」と呼ぶと、波長精度を向上しようとすればこの受光波長幅を狭くする必要があることになる。受光波長幅は、例えば100pmを越えると、精度の点でDWDM用の波長安定化装置には適用が困難になることが実験の結果わかった。そこで、受光波長幅が例えば100pm以下となるような光の平行度が求められることになる。

【0047】図18に前記のビーム偏倚角と受光波長幅との関係の一例を示す。図18は、第2光電変換素子6の受光径が0.05mmであり、受光面の中心位置がレンズの中心から0.2mmずれて配置され、またレンズ2の主面位置から受光面までの距離が1mmあり、フィルタは光軸Xに対して垂直に配置された場合の例を示している。図18から明らかなように、DWDM用の波長安定化装置に適用するために受光波長幅を100pm以下にしようとすれば、レンズ2により収束された平行光束の平行度（ビーム偏倚角 β ）は $\pm 2^\circ$ 以内とされることが望ましいことがわかる。ところで平行度が $\pm 2^\circ$ 以内となるように実装することは、例えば光ファイバに集光するレンズの実装精度などに比べるとはるかに容易であり、非球面レンズなどの高価な光学部材を用いることなく容易に実現することができる。

【0048】実施形態1において実際の波長安定化レーザモジュールは、図1に示すように、基板7上に光ファイバ結合用レンズ18、光アイソレータ27、温度検出用のサーミスタ29などが搭載され、半導体レーザ1、レンズ2、エタロン型フィルタ31、二つの光電変換素子5、6を備えた光検出器4と共に、従来の半導体レーザモジュールと同様なサイズのケース9内に組み込まれ、これに接続された光ファイバ14から光通信用の光を出射する構成となっている。基板7は付属するペルチェ素子によって温度制御可能とされており、半導体レーザ1の温度を制御して発振波長を安定化する共に、ケース内の全ての光学部品を一定の温度に制御する。このように実施形態1の波長安定化レーザモジュールは、従来の半導体レーザモジュールのケースに収納可能な非常にコンパクトな構成となっている。

【0049】以上詳しく説明したように、半導体レーザ1、レンズ2、エタロン型フィルタ31、二つの光電変換素子5、6を用いた実施形態1の波長安定化装置を従来の半導体レーザモジュールのケース9内に組み込むことにより、波長が高精度に安定化された半導体レーザモジュールが得られる。

【0050】（実施形態2）図9は、本発明の実施形態

2の波長安定化レーザモジュールに含まれる波長安定化装置を示している。以下「波長安定化装置」とは、波長安定化レーザモジュール内に組み込まれた少なくとも半導体レーザ、レンズ、フィルタ、および第1、第2光電変換素子を含むアセンブリを意味する。実施形態2は、実質的に実施形態1と同様であるが、ただし波長依存性の信号を得るためのフィルタとしてエタロン型フィルタに代わって誘電体多層膜がガラス基板上に形成された多層膜フィルタ32を用いている。多層膜フィルタ32を用いる場合、ガラス基板の厚さを任意に設定することができるので、基板を薄くしてコンパクトな構成にできる利点がある。実施形態2の作用や使い方は実施形態1と実質的に同様である。

【0051】（実施形態3）図10は、本発明の実施形態3における波長安定化装置を示している。実施形態3は、波長依存性のある信号を得るためのフィルタ33が一方の光電変換素子（第2光電変換素子6）に貼り付けて固定されている点で実施形態1と異なる。このフィルタ33は実施形態1で用いたエタロン型フィルタであっても、実施形態2で用いた多層膜フィルタであっても、またその他の同様な機能を有するフィルタであってもよい。この実施形態3の場合、透過率周期波長の調整や波長に依存した透過率の勾配の調整、また光検出強度の最適化は、フィルター一体型の光検出器41の光軸に対する角度や位置を実装時に最適化することで容易に行うことができる。実施形態3の波長安定化レーザモジュールは実施形態1または実施形態2に比べて更にコンパクトに波長安定化装置を組み込める利点がある。

【0052】（実施形態4）図11は、本発明の実施形態4における波長安定化装置を示している。実施形態4は、波長依存性のある信号を得るためのフィルタ34が一方の光電変換素子（第2光電変換素子6）にコーティングにより形成されている点で実施形態1と異なる。このフィルタ34は誘電体多層膜が第2光電変換素子6の受光面に直接コーティングされたものである。この実施形態では、第2光電変換素子6が誘電体多層膜の基板を兼ねているので、部品点数が更に減少すると共に光検出器42の厚みも、例えば実施形態3などの場合に比べて大幅に減少し、非常にコンパクトな波長安定化レーザモジュールが得られる。

【0053】（実施形態5）図12は、本発明の実施形態5における波長安定化装置を示している。実施形態5は、実質的に実施形態1と同様であるが、ただし半導体レーザとして、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有する半導体レーザ11を用いている。この半導体レーザ11は、電界吸収型半導体光変調器と集積されているので、一般に用いられているDFBレーザと外部変調器とを別個のモジュールとして構成する場合に比べ、光伝送システム全体をコンパクトに構成することができる利点がある。

【0054】（実施形態6）図13は、本発明の実施形態6における波長安定化装置の部分を示している。実施形態6は、実質的に実施形態1と同様であるが、ただし半導体レーザとして波長可変型半導体レーザ12を用いている点が異なり、またフィルタとしては特にFSRが90GHzのエタロン型フィルタ35を用いている。

【0055】次に波長可変型半導体レーザについて説明する。波長可変型半導体レーザは、1つのレーザ素子でありながら発振波長を変化させることができるものである。近年、急速に広まっているDWDMシステムでは、波長の異なるチャンネル毎に異なる半導体レーザを含む光源ユニットが必要である。またバックアップ用にも同数のユニットが必要となり、DWDMシステムのチャンネル数の増大により、バックアップのコストが膨大化する傾向にある。1つの波長可変レーザで複数のチャンネルのバックアップを行うことができれば、コストはその分だけ軽減される。このような用途を中心として、2ないし4チャンネル、またはそれ以上のチャンネルをカバーするような波長可変型半導体レーザの需要が高まってきている。最も一般的な構造で、実用化に近いものは、従来のDFB半導体レーザの温度を変化させることにより発振波長を変化させるタイプの波長可変型半導体レーザである。通常、波長1.55ミクロン帯のDFBレーザは、素子温度を10℃変化させると、発振波長が約1nm変化する。すなわち、図14に示すように、±12℃だけ素子温度を変化させることによって、100GHz（0.8nm）間隔で4チャンネル分に相当する2.4nmをカバーすることができる。

【0056】実施形態6の波長安定化レーザモジュールには、前記4チャンネルをカバーする波長可変型半導体レーザ12が組み込まれている。このように同一間隔の複数の波長で安定化制御を行うためには、FSRがこの波長間隔と同一のエタロン型フィルタを用い、安定化する基準波長ごとに異なる透過率周期を検出する構造にすればよい。ただし実際には、エタロン型フィルタの素材として用いられる一般的な石英ガラスには透過率周期に温度依存性が存在する。例えば実施形態1におけるように、1つの基準波長を安定化する場合であれば、制御する温度範囲は±1℃以内程度でよい。しかし実施形態6のように半導体レーザの素子温度を24℃も変化させる場合は、エタロン型フィルタの温度特性の影響が無視できなくなる。図15の上段に示すように、一般的なエタロン型フィルタでは温度が10℃変化するごとに中心波長の位置が0.1nmだけシフトする。

【0057】本発明における波長安定化レーザモジュールでは、エタロン型フィルタ35と半導体レーザ12は同一の温調基板7上に実装し、同一温度になるようにして温度制御を行うようにしているので、半導体レーザ12の発振波長の変化にともなって基板7の温度が変化する場合、エタロン型フィルタの透過率は温度変化に伴っ

て、図15の下段に示すような波長依存性を示すようになる。すなわち、実装時のFSRは元のFSRよりも広がる。これを実効的なFSRと呼ぶ。そこでこの実効的なFSRをDWDMシステムの波長間隔である100GHz（0.8nm）に整合するように設計すれば、各チャンネルで波長安定化を行うことができるようになる。

【0058】前記エタロン型フィルタにおける元のFSRと実効的なFSRとは、このエタロン型フィルタの温度特性と半導体レーザの発振波長の温度特性を使って次のように表すことができる。

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \cdots \text{式1}$$

式1中、Dはエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D0は前記半導体レーザが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon}はエタロン型フィルタの温度が1℃変化したときの中心波長の変化量、T_{LD}は前記半導体レーザの温度が1℃変化したときの発振波長の変化量である。ただし、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つの波長を示す。

【0059】次に、波長可変半導体レーザ12において、複数の基準波長を安定化する方法について説明する。図14において、ch1からch4までの波長（ここでは1555.75nm～1558.17nmに設定する）で作動する波長可変半導体レーザを用いる。一方、ch1からch4までの作動温度は図14に示すように、18℃、26℃、34℃、および42℃である。このときT_{LD}は約0.1nm/℃、T_{etalon}は約0.01nm/℃となるので、実効的なFSRを100GHzにするためには、エタロン型フィルタの元のFSRを90GHzにすればよいことがわかる。その上でこのエタロン型フィルタの角度を調整すれば、各温度での透過率の波長依存性は図15上段のようになり、実効的なFSRは図15の下段のように100GHzとほぼ等しくすることができる。このように設定したエタロン型フィルタを波長モニタ用の第2光電変換素子6の前に設置することで、各チャンネルにおいて実施形態1で説明したと同様に波長安定化を行うことができる。

【0060】前記の例では、エタロン型フィルタの透過率周期の右肩部分の傾斜を用いて波長の安定化を行っているが、透過率周期の左肩を使用しても同様の結果が得られることはいうまでもない。更に、透過率周期の左右双方の肩を用いて、FSRの半分の間隔、ここでは50GHz間隔で波長安定化を行うことも可能である。ただしこの場合は、チャンネルごとにフィードバックループにおいて制御方向が反転するので、波長安定化レーザモジュール中で補正する必要がある。

【0061】前記の例では元のエタロン型フィルタのFSRとして90GHzの例を示したが、この値はエタロン型フィルタの温度特性によって最適値が異なるので、エタロン型フィルタの温度特性を求めた後にFSRを設定する必要がある。また、実効的なFSRを複数の基準波

長の間隔と合わせる際には、通常、 $\pm 3\%$ 程度の精度があればよい。ただし、安定化可能な波長帯域、安定化する波長チャンネル数などに大きく依存し、安定化可能な波長帯域が狭い場合や安定化する波長チャンネル数が多い場合は、より高い精度が必要となる。

【0062】（実施形態7）図16は、本発明の実施形態7における波長安定化装置の部分を示している。実施形態7は、実質的に実施形態1と同様であるが、ただし波長依存性の信号を得るためのフィルタとしてSi基材のエタロン型フィルタ36を用いている。エタロン型フィルタとしては通常、石英基材のものが用いられているが、石英基材は高価であるので、これを材料費、加工費の安いSiに置き換えることは有利である。Siは光通信に用いる1.3ミクロンないし1.6ミクロン帯ではほとんど透明であり、低損失のフィルタとして十分な特性がある。またSiは、近年成熟しつつあるマイクロマシン技術が適用できる可能性が大きく、マイクロマシン技術によってSi基板フィルタの角度調整や位置調整の高精度制御が可能になる可能性がある。

【0063】更に、Siは石英ガラスよりも屈折率が約2倍高いので、フィルタの厚さを薄くすることができる。特に、FSRを50GHz以下程度の小さい値に設定する場合、石英ガラス基板のエタロン型フィルタでは厚さが2mm以上になり、フィルタのエッジでの回折光が第1光電変換素子5に入射して誤動作を招く可能性がある。このときフィルタ基板としてSiを用いると、FSRが50GHzの場合でもフィルタの厚さは1mm程度となり前記の問題が解消する。

【0064】以上例示した各実施形態において、第1および第2の光電変換素子は、2つの受光面を持つ集積化されたアレイ状の光検出器4として示したが、第1および第2の光電変換素子はそれぞれ単体の素子を並列して設置してもよい。単体であれ、アレイ状の光検出器であれ、これら第1および第2の光電変換素子は特性や受光面積が同じであっても異なってもよい。

【0065】

【発明の効果】本発明の波長安定化レーザモジュールは、半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段と、前記平行光束の一部を受光して電気信号に変換する第1光電変換手段と、前記平行光束の一部を入射しその波長に依存して透過率を連続的に変化させるフィルタと、前記フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換手段とを有しているので、高精度でありながら部品点数が少なく、スペース効率が良好で従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度にきわめてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も簡単であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1を示す構成図である。

【図2】 図1における光検出器を示す平面図である。

【図3】 図1におけるフィルタの一例を示す斜視図である。

【図4】 エタロン型フィルタの波長と透過率との関係を示す透過スペクトル図である。

【図5】 エタロン型フィルタにおける波長安定化作用を説明するための透過スペクトル図である。

【図6】 (a)および(b)は、半導体レーザの光出力変動要因を示すグラフである。

10 【図7】 エタロン型フィルタの透過特性を説明するための透過スペクトル図である。

【図8】 (a)～(e)は、エタロン型フィルタにおけるピーク波長の変化を説明するための透過スペクトル図である。

【図9】 本発明の実施形態2における波長安定化装置を示す構成図である。

【図10】 本発明の実施形態3における波長安定化装置を示す構成図である。

20 【図11】 本発明の実施形態4における波長安定化装置を示す構成図である。

【図12】 本発明の実施形態5における波長安定化装置を示す構成図である。

【図13】 本発明の実施形態6における波長安定化装置を示す構成図である。

【図14】 エタロン型フィルタの透過特性の温度依存性を説明するための透過スペクトル図である。

【図15】 エタロン型フィルタの透過特性の温度依存性を説明するための透過スペクトル図である。

30 【図16】 本発明の実施形態7における波長安定化装置を示す構成図である。

【図17】 レンズ透過光の平行度を示す概念図である。

【図18】 ビーム偏倚角と受光波長幅 $\Delta\lambda$ との関係を示すグラフである。

【図19】 従来の波長安定化装置の一例を示す構成図である。

【図20】 図19の波長安定化装置の作用を説明するための光電流スペクトル図である。

【図21】 従来の波長安定化装置の他の一例を示す構成図である。

40 【図22】 従来の波長安定化装置の更に他の一例を示す構成図である。

【図23】 図21の波長安定化装置の作用を説明するためのブロック図である。

【図24】 図21の波長安定化装置の作用を説明するための透過スペクトル図である。

【図25】 従来の波長安定化装置の更に他の一例を示す構成図である。

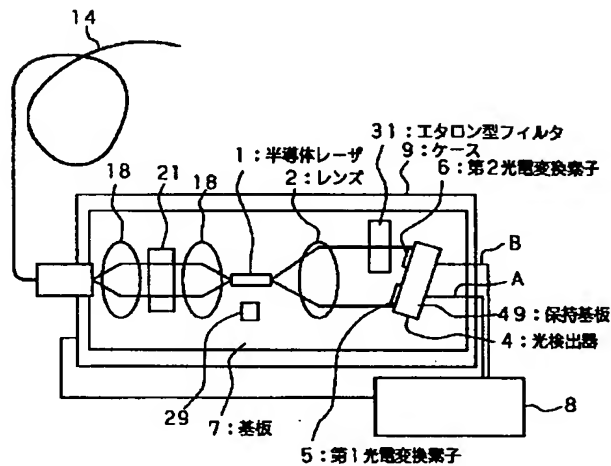
【図26】 従来の波長安定化装置の更に他の一例を示す構成図である。

50 【符号の説明】

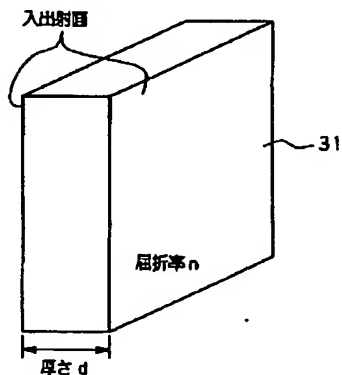
21

- 1 半導体レーザ
- 11 半導体レーザ
- 12 半導体レーザ
- 2 レンズ
- 3 フィルタ
- 31 エタロン型フィルタ
- 32 多層膜フィルタ
- 33 (貼り付けられた) フィルタ
- 34 (コーティングされた) フィルタ

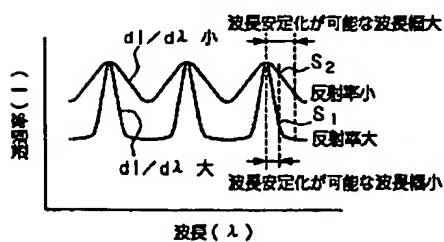
【図 1】



【図 3】



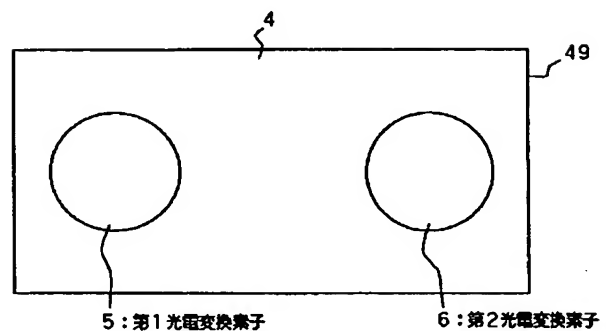
【図 7】



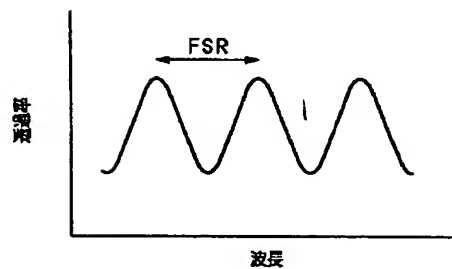
22

- 35 エタロン型フィルタ
- 4 光検出器
- 41 光検出器
- 42 光検出器
- 49 保持基板
- 5 第1光電変換素子
- 6 第2光電変換素子
- 7 (温度調節可能な) 基板
- 9 ケース

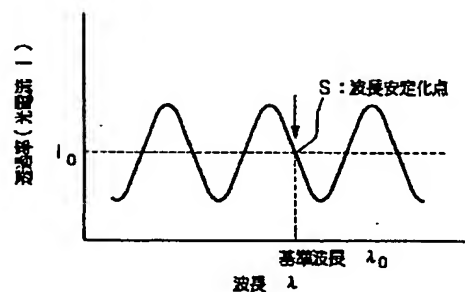
【図 2】



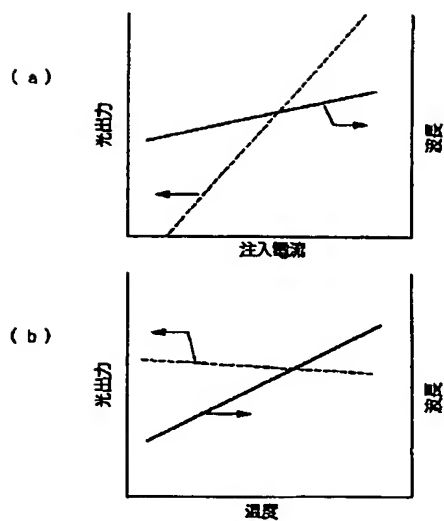
【図 4】



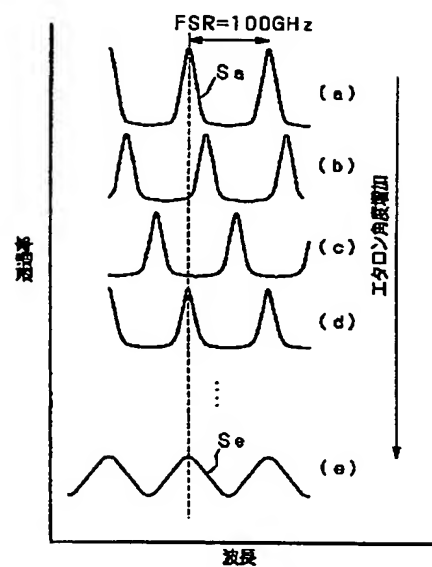
【図 5】



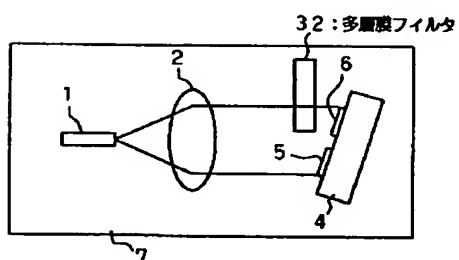
【図 6】



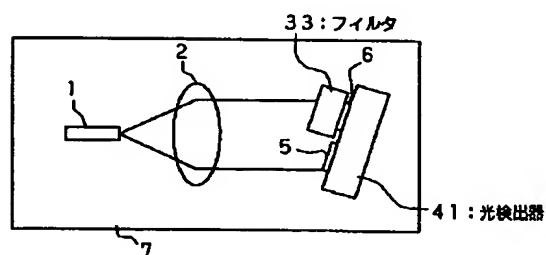
【図 8】



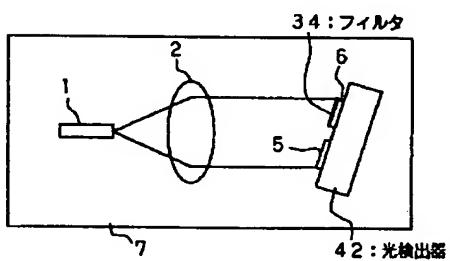
【図 9】



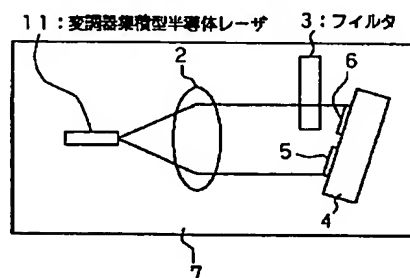
【図 10】



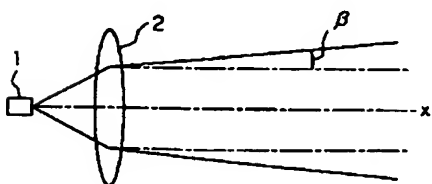
【図 11】



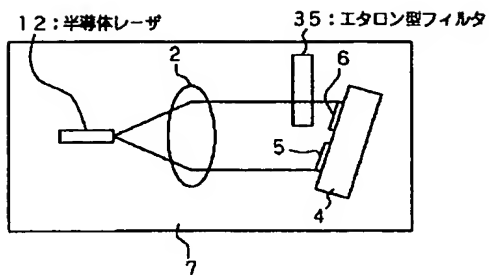
【図 12】



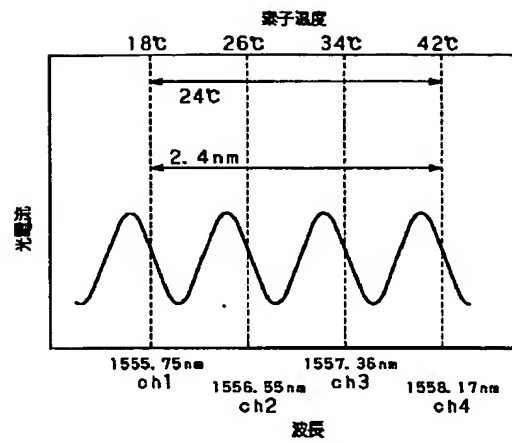
【図 17】



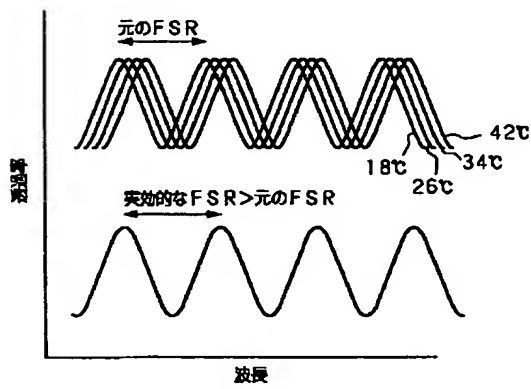
【図13】



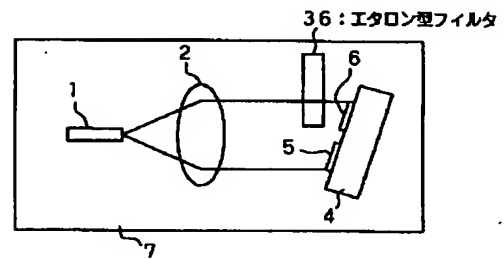
【図14】



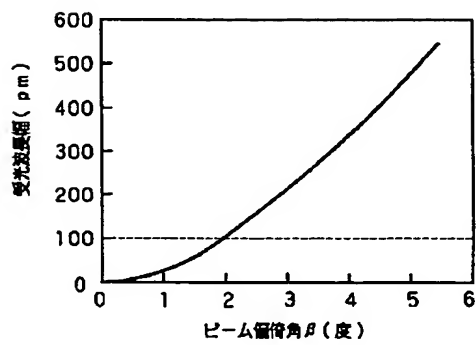
【図15】



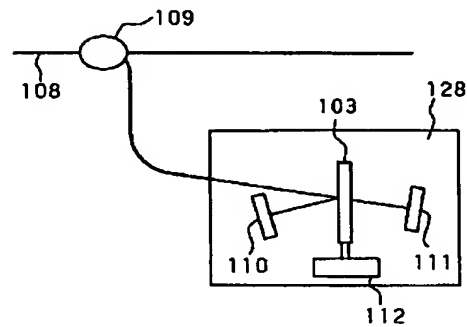
【図16】



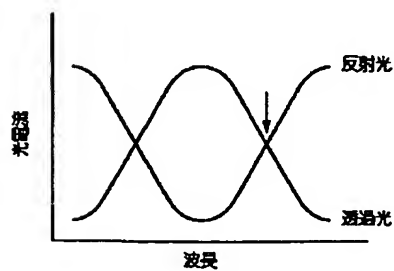
【図18】



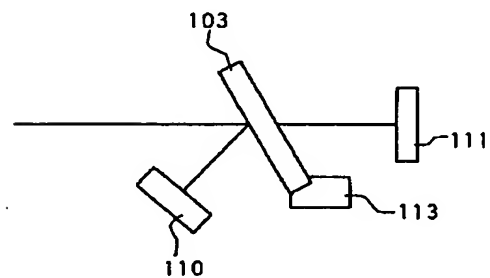
【図19】



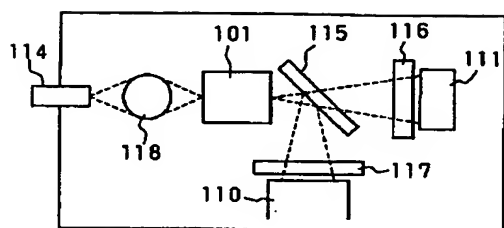
【図20】



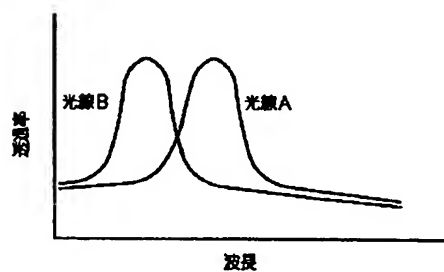
【図21】



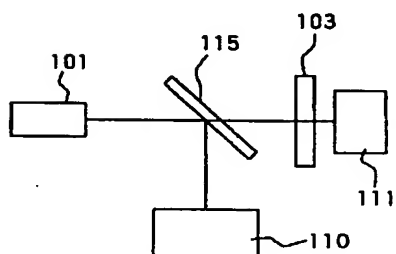
【図22】



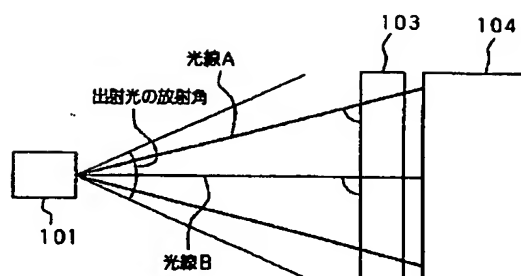
【図24】



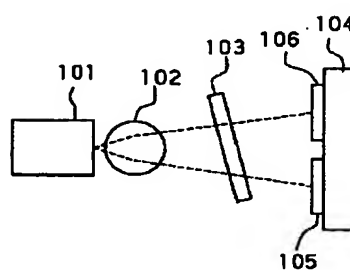
【図26】



【図23】



【図25】



⑫ 公開特許公報(A) 平4-157780

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成4年(1992)5月29日

H 01 S 3/133

6940-4M

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全10頁)

⑮ 発明の名称 半導体レーザの周波数安定化装置

⑯ 特 願 平2-283065

⑰ 出 願 平2(1990)10月20日

⑱ 発 明 者 宮 田 英 之 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
 ⑱ 発 明 者 小 野 田 義 人 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
 ⑲ 出 願 人 富 士 通 株 式 会 社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
 ⑳ 代 理 人 弁 理 士 青 木 朗 外 4 名

明 細 書

1. 発明の名称

半導体レーザの周波数安定化装置

2. 特許請求の範囲

1. 半導体レーザ(10)の光発振周波数を制御するための発振制御部を有する半導体レーザの周波数安定化装置において、

前記半導体レーザ(10)からの出力光(P_o)を受けて、一方ではその透過光(P_t)を送出し、他方では反射光(P_r)を送出するファブリ・ペローエタロン(22)と、

前記透過光(P_t)および反射光(P_r)をそれぞれ受光する第1受光器(31)および第2受光器(32)と、

前記第1受光器(31)の出力と前記第2の受光器(32)の出力とを相互に減算して光出力検出信号(S_o)を生成する減算部(33)と、
 から構成し、前記発振制御部は前記光出力検出信号(S_o)のレベルを零にするように前記光発振周波数を制御する発振制御部(34)からなること

を特徴とする半導体レーザの周波数安定化装置。

2. 前記光出力検出信号(S_o)のレベルを零にするときの前記光発振周波数の周波数(f_o)を任意に設定するための周波数設定部(51)を備える請求項1に記載の周波数安定化装置。

3. 前記発振制御部(34)が、前記半導体レーザ(10)のバイアスを変化させるバイアス制御手段(42)および該半導体レーザ(10)の動作温度を変化させる温度制御手段(43)の少なくとも1つを制御する請求項1に記載の周波数安定化装置。

4. 前記周波数設定部(51)が、前記ファブリ・ペローエタロン(22)を前記出力光(P_o)の光軸に対し任意の角度で傾斜させる傾斜手段(61)、該ファブリ・ペローエタロンの動作温度を変化させる温度制御手段(62)、該ファブリ・ペローエタロンの電気光学効果を変化させる電界制御手段(63)、該ファブリ・ペローエタロンの光弾性効果を変化させる押圧手段(64)および該ファブリ・ペローエタロンを構成するミラー対の間隔を制御する調整手段(65)の少なくとも1つからなる請

求項2に記載の周波数安定化装置。

3. 発明の詳細な説明

〔概要〕

半導体レーザの光発振周波数を制御するための発振制御部を有する半導体レーザの周波数安定化装置に関し、

光発振周波数の安定化のために、半導体レーザおよびその周波数安定化装置からなる系内の光発振周波数を低周波で微小変調する従来の外部変調手段を排除することを目的とし、半導体レーザからの出力光を受けて、一方ではその透過光を送出し、他方では反射光を送出するファブリ・ペローエタロンと、透過光および反射光をそれぞれ受光する第1および第2受光器と、第1および第2受光器の各出力を相互に減算して光出力検出信号を生成する減算部と、からなり、発振制御部は光出力検出信号のレベルを零にするように光発振周波数を制御するように構成する。

術分野にも適用し得るものである。この分野では、光の干渉を利用した計測手法を採用しており、やはり光発振周波数の安定化は不可欠だからである。

〔従来の技術〕

第13図は従来例による半導体レーザの周波数安定化装置を示す図である。本図において、10は半導体レーザであり、その光発振周波数を安定化させるのが周波数安定化装置20である。この装置20は図示する構成要素21～26からなる。

半導体レーザ10からの出力光、例えば前方出力光を光通信用のデータ光に用いるとすれば、その後方出力光を、レンズ21を介してファブリ・ペローエタロン22に印加し、ここでフィルタされた特定周波数の透過光は、受光器24より検出信号S₁として発振制御部25に与えられ、発振制御部25はこの信号S₁に基づいて半導体レーザ10の発振周波数を制御する。ここに該発振周波数は一定値に安定化される。この場合、外部変調手段が重要な役割を果たす。図中この外部変調手段は、ファ

〔産業上の利用分野〕

本発明は、半導体レーザの光発振周波数を制御するための発振制御部を有する半導体レーザの周波数安定化装置に関する。

近年、コヒーレント光通信システムにおいては、その伝送容量を飛躍的に増大させるべく、これに対応する種々の伝送方式が採用されつつある。例えば波長多重伝送方式や光周波数多重伝送方式である。

ところでこのような光多重伝送方式を実現するためには、複数の波長あるいは周波数に対応する光発振源、すなわち複数の半導体レーザが不可欠となるが、この場合、各該半導体レーザ毎に極めて高精度な光発振周波数の安定化が必要となる。これは複数の周波数相互間の間隔を厳密に一定に保つためである。

本発明は上述のような背景のもとで使用される半導体レーザの周波数安定化装置の改良について述べる。なお、本発明による技術は、上記のコヒーレント光通信分野のみならず、光による測長技

術・ペローエタロン変調手段23および／または半導体レーザ直接変調手段26として示されており、これについて特性図を参照しながら以下に説明する。

第14図は第13図の装置内におけるファブリ・ペローエタロンの共振特性を示す図であり、横軸には半導体レーザ10の光発振周波数を、縦軸にはファブリ・ペローエタロン22からの透過光の出力レベルをそれぞれとって示す。本図は、ファブリ・ペローエタロン22が共振特性を示すことを表している。その共振周波数は整数倍の関係で複数現れる。

ここで半導体レーザ10およびその周波数安定化装置20からなる系内の光発振周波数を低周波数（データの伝送速度に比べて低周波数）、例えば100KHzで微小変調する。これは前述の外部変調手段（23・26）で行われる。

第14図の特性をもった透過光を、該外部変調手段により低周波で変調した信号を受光器24で電気信号に変換し、この電気信号を発振制御部25に入

力する。この中には、該電気信号に対して周波数弁別を行う、いわゆる同期検波回路が含まれており、第14図の透過光波形を微分した形の検出信号が得られる。

第15図は第13図の装置内における受光器からの掃引検出信号の変化を示す図であり、縦軸には上記検出信号の出力レベルをとって示す。この検出信号は、第14図の波形を微分したものであるから、山状の該波形の頂点では微分値零（図中の“零点”）となり、一方、該山状の波形の中腹（左右2つある）で、正の最大の微分値および負の最大の微分値が得られる。このような発振制御部25は、上記零点を常に追従するように、半導体レーザ10の光発振周波数を制御する。かくして、半導体レーザ10の光発振周波数は、第15図のfに常に固定され、周波数の安定化が行える。

〔発明が解決しようとする課題〕

上述のとおり従来の周波数安定化装置20は、第14図の特性の透過光波形を第15図のように微分し

たは記号を付して示す。

本発明に係る周波数安定化装置30は、ファブリ・ペローエタロン22と、第1受光器31と、第2受光器32と、減算部33と、発振制御部34とからなる。

ファブリ・ペローエタロン22は、半導体レーザ10からの出力光P₁を受光して、一方ではその透過光P₁を送出し、他方では反射光P₂を送出する。

第1受光器31および第2受光器32は、透過光P₁および反射光P₂をそれぞれ受光する。

減算部33は、第1受光器31の出力と第2受光器32の出力とを相互に減算して光出力検出信号S₁を生成する。

発振制御部34は、光出力検出信号S₁のレベルを零にするように光発振周波数を制御する。

第1B図は第1A図の基本構成の変形例を示す図であり、ファブリ・ペローエタロン22の前段に光分岐手段28、例えば図示するハーフミラーあるいは光カプラを設け、この光分岐手段28を介して反射光P₂を取り出すようにする。なお、以下の

た波形を得るために、外部変調手段（23・26）が不可欠となる。しかしながらこの外部変調手段を用いる周波数安定化装置には問題がある。

すなわち、半導体レーザ10と周波数安定化装置20を含む系内に、上述した微小変調用の低周波成分が含まれることになることから、該半導体レーザの例えば前方光により光通信用のデータ光を送信するとすれば、当然そのデータ光に、後方光に含まれる該低周波成分がノイズとして侵入することになり、伝送品質を劣化させてしまうという問題である。

したがって本発明は上記問題点に鑑み、従来の外部変調手段を用いることなく周波数安定化が行える新規な構成からなる半導体レーザの周波数安定化装置を提供することを目的とするものである。

〔課題を解決するための手段〕

第1A図は本発明に係る半導体レーザの周波数安定化装置の基本構成を示す図である。なお、全図を通じて同様の構成要素には同一の参照番号ま

説明は第1A図の基本構成を主体にして行う。

〔作用〕

第2図は本発明の原理説明に用いる図である。本図は透過光P₁の光出力レベル（実線）と反射光P₂の光出力レベル（点線）の光発振周波数に対する変化を示す図である。ただし透過光P₁については、前述した第14図の特性と同じである。

半導体レーザ10からの出力光P₁の光エネルギーは一定に保存されることから、ファブリ・ペローエタロン22より透過光P₁として消失したエネルギーの残余のエネルギーは反射光として消失することになる。一般にこの反射光は無駄に捨てられ、むしろ半導体レーザ10の出力光P₁に戻り、これに悪影響を与えていた。

本発明においては第2図の点線で示す光出力レベルを有するファブリ・ペローエタロンからの反射光P₂を取り出し積極的に利用する。なお、反射光P₂を取り出す最も簡単な方法としては、第1A図のようにファブリ・ペローエタロン22の主

軸を、出力光 P_1 の光軸に対して傾斜させる方法が挙げられる。また、第1B図に示すように光分岐手段28を介して取り出すようにしても良い。

第2図に示すように、透過光 P_1 と反射光 P_2 の各光出力レベルは相補的な関係にある。そこで、一方の光出力レベル、例えば反射光 P_2 の光出力レベルを反転させて、他方の光出力レベル、すなわち透過光 P_1 の光出力レベルと加算する。この光出力レベルの反転および加算は減算部33で行われ、その出力として光出力検出信号 S_1 を得る。

第3図は減算部からの光出力検出信号を説明するための図である。本図の光出力検出信号レベルは第2図の点線のカーブ P_2 を上下反転させて、第2図の実線のカーブ P_1 に加え合わせたものに相当し、零レベルを中心に正(+)および負(-)に振れる。この零レベルと信号レベル S_1 との交点を零点と称することにとすると、この零点は、第2図のレベル P_1 とレベル P_2 とが交差する点に相当する。この点での光発振周波数の周波数を f_0 とすると、周波数安定化装置30によって、半

導体レーザ10の光発振周波数を f_0 に固定的に安定させることができる。この場合、周波数安定化装置30内の発振制御部34は、信号 S_1 が常に上記の零点に追従するように半導体レーザ10を制御することになる。

本発明による第3図の“零点”は前述した第15図に示す従来の“零点”に対応するものであるが、この零点を得るために本発明では従来の外部変調手段(23・26)を全く導入していないことに注目すべきである。したがって従来の外部変調手段を用いることによって生じた既述の問題は解消されることになる。

【実施例】

第4図は本発明の一実施例を説明するための図であり、減算部33の具体例が示されている。すなわち減算部33は引算回路として組まれた演算増幅器41で実現される。なお、引算回路とは、2つの入力のうち一方をレベル反転回路を通してレベル極性切り替えをした後に加算する加算回路をも含

む概念である。

上記演算増幅器41の出力を受けて動作する発振制御部34は、半導体レーザ10の光発振周波数を、信号 S_1 が常に零点に収束するように動作するものであり、そのために例えばバイアス制御手段42や温度制御手段43を制御する。これらの手段42および43の少なくとも一方を制御すればよく、必要なら両方を制御する。

バイアス制御手段42は、一般的な半導体レーザ駆動回路に含まれる周知のバイアス電流制御回路でよい。

また温度制御手段43は、一般的な半導体レーザ駆動回路に付帯せしめられる周知の熱源素子、例えばペルチェ効果を有する半導体デバイスでよい。通常、半導体レーザはこのような熱源素子によって一定温度(例えば25℃)下で動作せしめられ、光発振周波数がシフトしないようにしている。この熱源素子を前記光出力検出信号 S_1 が常に零点に収束するように制御すればよい。

第5図は第1A図の周波数安定化装置に周波数

設定部を付加した図である。第2図および第3図を再び参照すると、光発振周波数における特定の周波数 f_0 は、零点が定まると一義的に定まる。したがって零点が定まると、この周波数 f_0 を動かすことができない。そうすると、実用上は使い勝手が悪い。例えば既述の光周波数多重伝送方式(FDM)においては、多数のチャネルが所定の周波数間隔をおいて周波数軸上に配列されることになるが、その所定の周波数間隔を厳密に設定すべく、例えばある周波数帯を担う半導体レーザの光発振周波数を例えば3GHzシフトさせたい、という要求が生じ得る。この要求に応えるためには、前記の周波数 f_0 が任意に設定可能でなければならない。このために第5図に示す周波数設定部51を設ける。

第6図は周波数設定部の第1例を示す図である。第1例では、傾斜手段61を用いる。該手段61は、ファブリ・ペローエタロン22を出力光 P_1 の光軸に対し任意の角度で図中の矢印の方向に傾斜させる。その駆動源としてはmオーダの変位をする圧

電素子(PZT)を用いることができる。傾きを変えることにより、ファブリ・ペローエタロンの共振器長が変えられることを利用したものである。

第7図は周波数設定部の第2例を示す図である。第2例では、温度制御手段62を用いる。ファブリ・ペローエタロンの温度を変えることにより共振器長が変えられることを利用したものである。

第8図は周波数設定部の第3例を示す図である。第3例では、電界制御手段63を用いる。この手段63は、ファブリ・ペローエタロンの両端に固着された電極対に電圧を印加する。これは電気光学効果を有するファブリ・ペローエタロンに対する電界を変えることにより共振器長が変えられることを利用したものである。

第9図は周波数設定部の第4例を示す図である。第4例では、押圧手段64を用いる。これは光弾性効果を有するファブリ・ペローエタロン22を、その主軸にそって外圧により伸縮せしめることにより共振器長が変えられることを利用したものである。なお、その押圧源としては圧電素子(PZT)を用

いることができる。

第10図は周波数設定部の第5例を示す図である。第5例では、調整手段65を用いる。これは一対のミラーからなるファブリ・ペローエタロン22のミラー対の間隔を変えることにより共振器長が変えられることを利用したものである。ミラー対の間隔を変える駆動源としては、圧電素子(PZT)を用いることができる。

第11図は受光器の第1の変形例を説明する図である。本図において、既述の第1および第2受光器は、それぞれ第1の大口径受光器71および第2の大口径受光器72となっている。それぞれ透過光 P_1 のおよび反射光 P_2 の光軸に対し広角度 α および β をもって、 P_1 および P_2 を受光可能である。これは、多少の光軸ずれを許容するものであり、製造上のマージンを大きくとれるメリットがある。

このように大口径の受光器71・72が採用できたのは本発明において従来の外部変調手段(23・26)を排除したからである。この外部変調手段の変調

周波数は、半導体レーザの光発振周波数に比べればきわめて低いものの、例えば100KHzと高い周波数である。このような高周波に応答する高速ホトダイオード(受光器31・32)は一般に小口径である。

ところが本発明によると、上記の変調周波数に対応する周波数は、光出力検出信号 S_p のレベル変動の周波数であり、ほぼ直流に近いものである。そうすると、このような低周波用のホトダイオードとしては一般に大口径のものが安価に入手できる。この点に着目し、大口径の受光器71・72を採用したものである。

第12図は受光器の第2の変形例を説明する図である。上述のように大口径の受光器を用いることにより製造上のマージンが大きくとれるというメリットがある。

ところで、上記の光出力検出信号 S_p のレベル変動の周波数は、上述のように常に低いとは限らない。これは半導体レーザ10の光発振周波数がかなり高速にシフトする場合もあるからである。そ

うすると、信号 S_p のレベル変動の周波数もそれについて高いものとなる。

このようなときは高速応答に適した小口径のホトダイオードが必要になる。そこで小口径のホトダイオード、すなわち小口径受光素子をアレイ状に複数配列して、形状からすると第11図の大口径受光器71・72とほぼ等価なものとする。これが、第1のアレイ形受光器81および第2のアレイ形受光器82である。

第4図から第12図までファブリ・ペローエタロン22を斜めにして反射するような構成を取っていたが、これらの構成において第1B図のように反射光を光分岐手段28により分岐しその光を受光するような構成としてもよい。

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、外部変調成分が全くなく、半導体レーザによる本来の光データ伝送品質をほとんど劣化させない、という大きな利点が生ずる。

また、これに加えファブリ・ペローエタロン22からの反射光 P_2 は、半導体レーザの出力光 P_0 には戻らないように構成しているから、この戻り光の影響による光データ品質の劣化ということはありません。

さらに、第3図に示すとおり、光出力検出信号 S_p の振幅は、従来の対応する検出信号(第15図)の振幅の概略2倍となるから、発振制御部34にはいわゆる S/N の高い制御入力を与えられることになり、この点からも半導体レーザの周波数は一層安定化されることになる。

4. 図面の簡単な説明

第1A図は本発明に係る半導体レーザの周波数安定化装置の基本構成を示す図、

第1B図は第1A図の構成の変形例を示す図、

第2図は本発明の原理説明に用いる図、

第3図は減算部からの光出力検出信号を説明するための図、

第4図は本発明の一実施例を説明するための図、

第5図は第1A図の周波数安定化装置に周波数

設定部を付加した図、

第6図は周波数設定部の第1例を示す図、

第7図は周波数設定部の第2例を示す図、

第8図は周波数設定部の第3例を示す図、

第9図は周波数設定部の第4例を示す図、

第10図は周波数設定部の第5例を示す図、

第11図は受光器の第1の変形例を説明する図、

第12図は受光器の第2の変形例を説明する図、

第13図は従来例による半導体レーザの周波数安定化装置を示す図、

第14図は第13図の装置内におけるファブリ・ペローエタロンの共振特性を示す図、

第15図は第13図の装置内における受光器からの掃引検出信号の変化を示す図である。

図において、

10…半導体レーザ、

22…ファブリ・ペローエタロン、

28…光分岐手段、

30…周波数安定化装置、

31…第1受光器、

32…第2受光器、

33…減算部、

34…発振制御部、

41…減算増幅器、

42…バイアス制御手段、

43…温度制御手段、

51…周波数設定部、

61…傾斜手段、

62…温度制御手段、

63…電界制御手段、

64…押圧手段、

65…調整手段、

71…第1の大口径受光器、

72…第2の大口径受光器、

81…第1のアレイ形受光器、

82…第2のアレイ形受光器、

P_0 …出力光、

P_1 …透過光、

P_2 …反射光、

S_p …光出力検出信号。

特許出願人

富士通株式会社

特許出願代理人

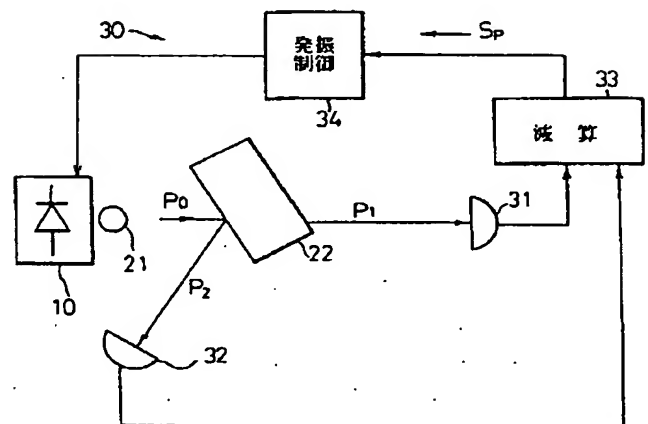
弁理士 青 木 朗

弁理士 石 田 敬

弁理士 平 岩 賢 三

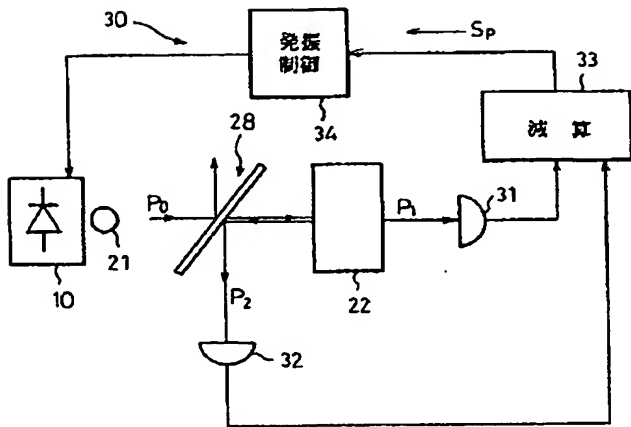
弁理士 山 口 昭 之

弁理士 西 山 雅 也



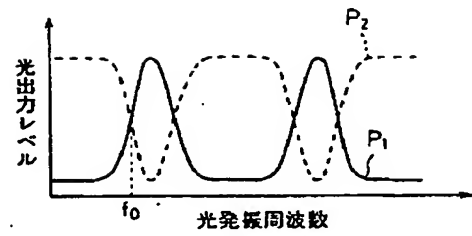
本発明に係る半導体レーザの周波数安定化装置の基本構成を示す図

第1A図



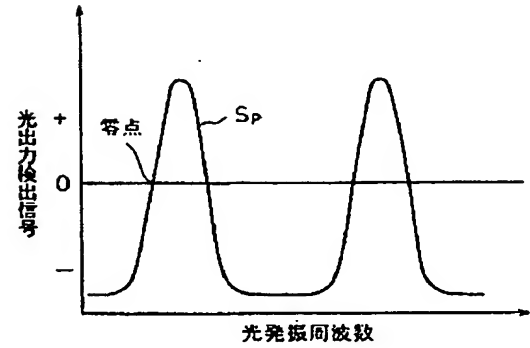
第1A図の基本構成の変形例を示す図

第1B図



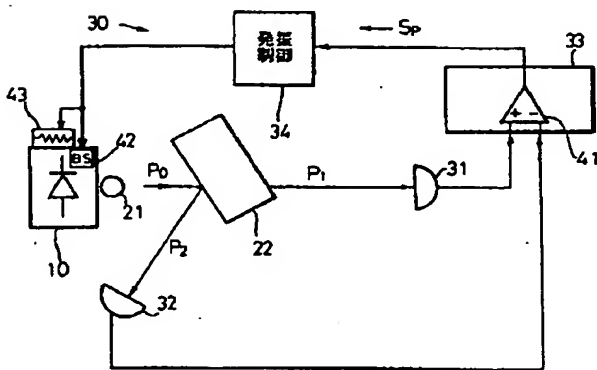
本発明の原理説明に用いる図

第2図



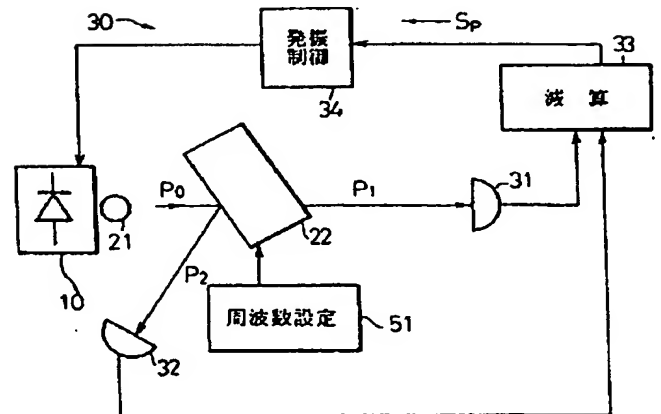
減算部からの光出力検出信号を説明するための図

第3図



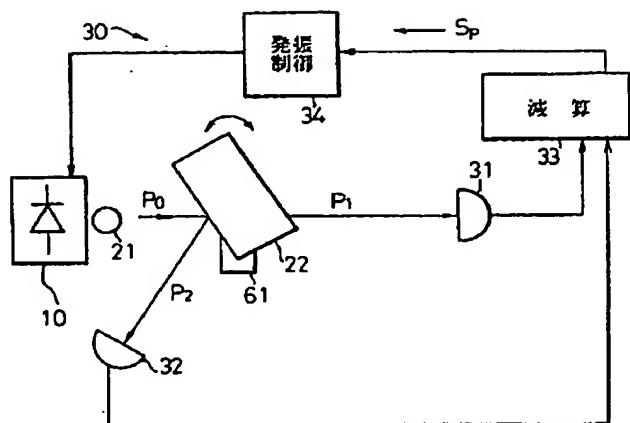
本発明の一実施例を説明するための図

第4図

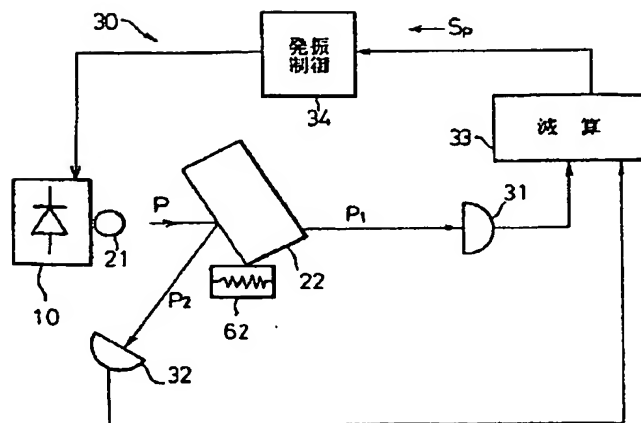


第1A図の周波数安定化装置に周波数設定部を付加した図

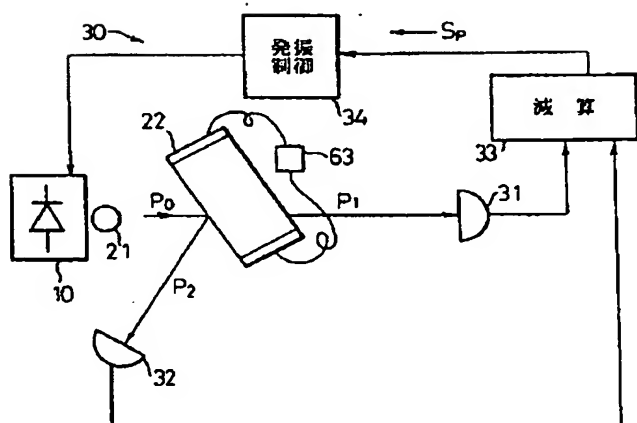
第5図



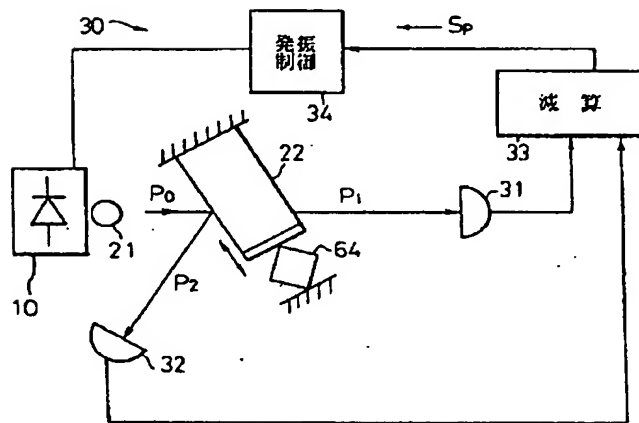
周波数設定部の第1例を示す図
第6図



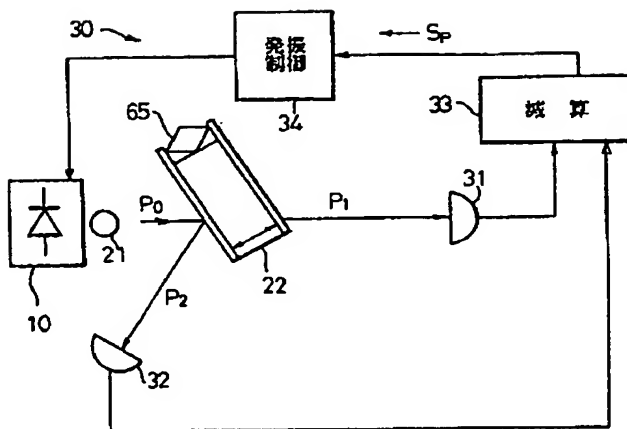
周波数設定部の第2例を示す図
第7図



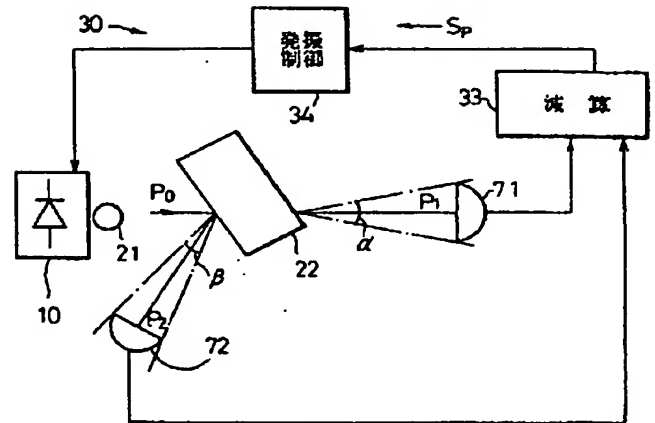
周波数設定部の第3例を示す図
第8図



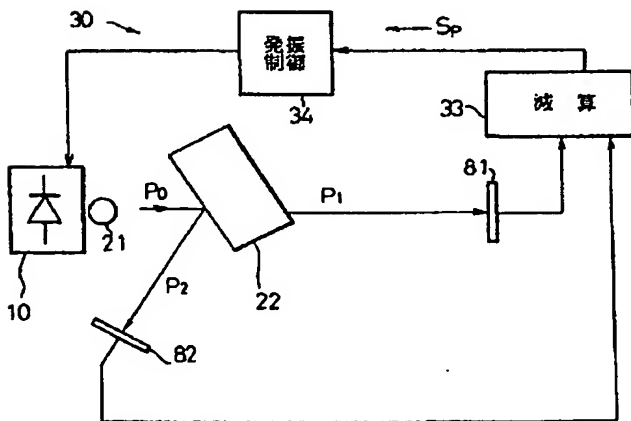
周波数設定部の第4例を示す図
第9図



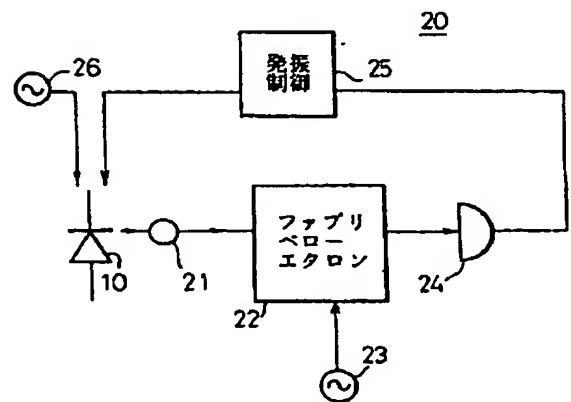
周波数設定部の第5例を示す図
第10図



受光器の第1の変形例を説明する図
第11図

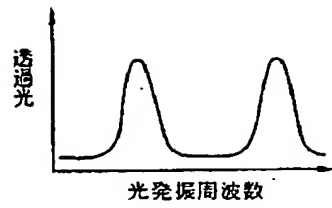


受光器の第2の変形例を説明する図
第12図



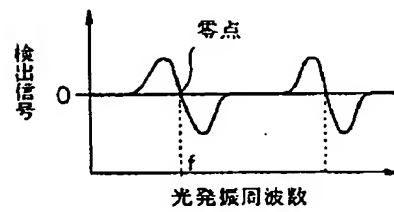
従来例による半導体レーザの周波数安定化装置を示す図

第13図



第13図の装置内におけるファブリ・ペローエタロンの共振特性を示す図

第14図



第13図の装置内における受光器からの導引検出信号の変化を示す図

第15図

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-185075

(P2002-185075A)

(43)公開日 平成14年6月28日(2002.6.28)

(51)IntCl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
H 0 1 S 5/0687		H 0 1 S 5/0687	2 H 0 3 7
G 0 2 B 6/42		G 0 2 B 6/42	2 H 0 7 9
G 0 2 F 1/015	5 0 5	G 0 2 F 1/015	5 0 5 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 18 頁)

(21)出願番号 特願2000-383293(P2000-383293)

(22)出願日 平成12年12月18日(2000.12.18)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 伊藤 彰浩

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 清水 淳一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100082935

弁理士 京本 直樹 (外2名)

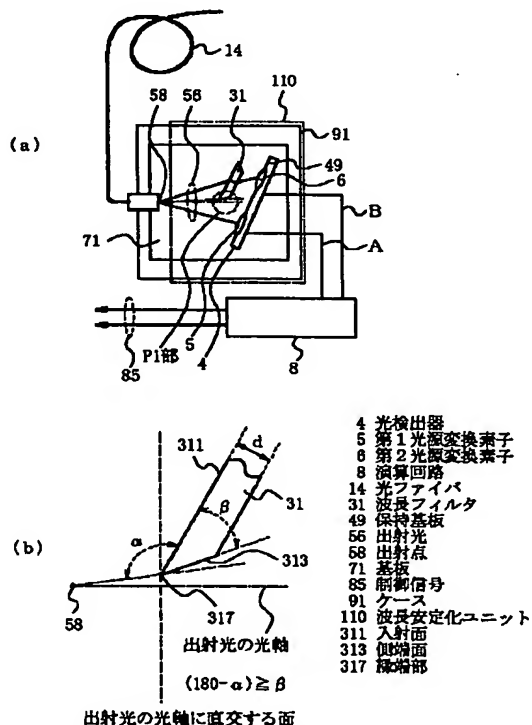
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長安定化ユニット及び波長安定化レーザモジュール

(57)【要約】

【課題】 光電変換素子への迷光を抑制して強度モニタPD電流を安定化し、半導体レーザの発振波長を一層高精度で安定化でき、且つ極めてコンパクトで、部品点数が少なく、低コストの波長安定化ユニット及びこの波長安定化ユニットを用いた波長安定化レーザモジュールを提供する。

【解決手段】 波長フィルタ31と、光検出器4を備え、これらを基板71上に搭載してケース91内に収納する。光検出器4は、ケース91内に導入されている光ファイバ14の端部(出射点58)からの出射光56を直接受光して電気信号Aに変換する第1光電変換素子5と波長フィルタ31の透過光を受光して電気信号Bに変換する第2光電変換手段6とを備え、それぞれの電気信号A、Bを演算回路8に出力する。波長フィルタ31は、その側端面が、出射点58と入射面311の縁端部とを結ぶ直線と交差しないように加工されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 温度調節手段を備えた半導体レーザの放射光が所定の出射点から出射された放射光の一部を直接受光して電気信号に変換する第 1 光電変換手段と、前記放射光の一部を直接入射しその波長に依存して透過率が連続的に変化する波長フィルタと、前記波長フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第 2 光電変換手段と、前記波長フィルタの側端面部分に照射された前記放射光が前記波長フィルタを介して前記第 1 光電変換手段に入射するのを防止する迷光防止手段と、を少なくとも有することを特徴とする波長安定化ユニット。

【請求項 2】 前記放射光を平行光束に変換する光束平行化手段を更に有し、前記第 1 光電変換手段は前記平行光束の一部を直接受光するようにし、前記波長フィルタは前記平行光束の一部を直接入射するようにした請求項 1 記載の波長安定化ユニット。

【請求項 3】 前記光束平行化手段がレンズであり、このレンズから出射した単一の平行光束の一部が直接前記第 1 光電変換手段に入射し、他の一部が直接前記波長フィルタに入射するようにしたことを特徴とする請求項 2 に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 4】 前記平行光束の平行度が $\pm 2^\circ$ 以内とされたことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 5】 前記迷光防止手段が、前記出射点と前記波長フィルタの前記放射光が入射する入射面の縁端部とを結ぶ直線及びその延長部と交差しないように前記波長フィルタの側端面を加工した迷光防止波長フィルタを用いるものである請求項 1 記載の波長安定化ユニット。

【請求項 6】 前記迷光防止手段が、前記波長フィルタの側端面を、前記平行光束に照射されないように加工した迷光防止波長フィルタを用いるものである請求項 2 乃至 4 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 7】 前記迷光防止波長フィルタは、少なくとも前記平行光束が照射される前記波長フィルタの側端面を前記平行光束が入射する入射面の縁端部を通る前記平行光束の光軸に平行な直線と交差しないように加工したものである請求項 6 記載の波長安定化ユニット。

【請求項 8】 前記迷光防止手段が、前記波長フィルタの前記平行光束が入射する入射面の前記光軸に最も近い第 1 縁端部と前記光束平行化手段との距離を、前記入射面の前記光軸から最も遠い第 2 縁端部と前記光束平行化手段との距離よりも大きくし、且つ前記平行光束の光軸と交差しないように前記波長フィルタを実装することによるものである請求項 2 乃至 4 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 9】 前記迷光防止手段が、前記波長フィルタの側端面と前記平行光束が入射する入射面とが成す角度を、前記入射面と前記平行光束の光軸の前記波長フィルタよりも第 1 光電変換手段側の部分とが成す角度よりも

小さくした迷光防止波長フィルタを用いるものである請求項 2 乃至 4 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 10】 前記迷光防止手段が、前記波長フィルタの側端面に少なくとも無反射膜及び光吸収膜を含む材料の中から選択した所定材料のコーティング膜を付着せしめた迷光防止波長フィルタを用いるものである請求項 1 乃至 4 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 11】 前記迷光防止手段が、前記波長フィルタの側端面に反射膜をコーティングし、且つ前記側端面での反射光が前記第 1 光電変換素子に照射されないようにした迷光防止波長フィルタを用いるものである請求項 1 乃至 4 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 12】 前記迷光防止手段が、前記波長フィルタの側端面に粗面加工を施し、前記側端面を凹凸面にした迷光防止波長フィルタを用いるものである請求項 1 乃至 4 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 13】 前記波長フィルタが、前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長を含む波長帯域内で透過率が波長に依存して単調に増大又は減少する透過特性を有するものである請求項 1 乃至 12 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 14】 前記波長フィルタが、入射角の調節によって、波長に依存する透過率変化の勾配を変化させ得るものである請求項 1 乃至 12 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 15】 前記波長フィルタが、前記基準波長を含まない波長帯域において透過率が最大となるか又は最小となる単峰性の透過特性を有するものである請求項 1 乃至 12 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 16】 前記波長フィルタが、透明基板上に誘電体多層膜が形成された多層膜フィルタである請求項 1 乃至 12 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 17】 前記波長フィルタが、一定波長間隔で透過率が極大と極小とを繰り返す透過率周期を有するエタロン型フィルタである請求項 1 乃至 16 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 18】 前記半導体レーザが温度に依存して複数の波長を発振し得る波長可変型のものであり、且つ前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔が下記の式 1 に従って設定された請求項 17 に記載の波長安定化ユニット。

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \cdots \text{式 1}$$

(式 1 中、D はエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D0 は前記半導体レーザが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon} はエタロン型フィルタの温度が 1℃ 変化したときの中心波長の変化量、T_{LD} は前記半導体レーザの温度が 1℃ 変化したときの発振波長の変化量である。但し、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つの波長を示す。)

【請求項 19】 前記波長フィルタが、石英ガラスより高い屈折率を有する透明基材から形成された請求項 1 乃至 18 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 20】 前記透明基材がシリコン (Si) である請求項 19 に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 21】 前記第 1 光電変換手段と第 2 光電変換手段とが同一保持基板上に並列され、アレイ状の光検出器を形成した請求項 1 乃至 20 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 22】 前記第 1 光電変換手段の受光面が、入射光の光軸から傾斜して配置された請求項 1 乃至 21 いずれか 1 項に記載の波長安定化ユニット。

【請求項 23】 半導体レーザと、この半導体レーザの温度を調節する温度調節手段と、前記半導体レーザの発振波長を安定化する波長安定化ユニットを備え、前記波長安定化ユニットが請求項 1 乃至 17 及び請求項 19 乃至 22 のいずれか 1 項に記載のものであることを特徴とする波長安定化レーザモジュール。

【請求項 24】 前記半導体レーザが、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有するものである請求項 23 に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 25】 温度に依存して複数の波長を発振し得る波長可変型半導体レーザと、この半導体レーザの温度を調節する温度調節手段と、前記半導体レーザの発振波長を安定化する波長安定化ユニットを備え、前記波長安定化ユニットが請求項 18 に記載のものである波長安定化レーザモジュール。

【請求項 26】 前記温度調整手段が、ペルチェ素子である請求項 23 乃至 25 いずれか 1 項に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 27】 前記波長安定化ユニットが、前方から信号用レーザ光を出力する前記半導体レーザの後方出力光を前記半導体レーザの後方出力端を出射点とする出射光として受光するように配置された請求項 23 乃至 26 いずれか 1 項に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項 28】 レーザ光出力手段として光ファイバを有すると共に、少なくとも前記半導体レーザと前記温度調節手段と前記波長安定化ユニットとが単一ケース内に収納されてなることを特徴とする請求項 23 乃至 27 いずれか 1 項に記載の波長安定化レーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は波長安定化レーザモジュールに関し、特に出射するレーザ光の波長を高精度に安定化することができ且つ構造が簡単で小型化が可能な、波長安定化ユニット及びこの波長安定化ユニットを用いた波長安定化レーザモジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバ通信システムの光源として、従来から半導体レーザが用いられている。特に数 10 km

以上の光ファイバ通信には波長分散の影響を抑えるために DFB (distributed feedback) レーザなど単一軸モードの半導体レーザが用いられている。ところで例えば前記 DFB レーザは、単一の波長で発振するとはいえ、その発振波長は温度や注入電流によって変化する。また光ファイバ通信システムにおいては、光源の出力強度が一定であることも重要であるので、これまでの光ファイバ通信システムにおいては、一般に半導体レーザの温度及び光出力を一定にするような制御が行われてきた。基本的には半導体レーザの温度と注入電流とを一定に維持すれば光出力と発振波長とは一定に保たれる。しかし、半導体レーザが長期間の使用により劣化すると、光出力を一定に保持するための注入電流が上昇し、これに伴って発振波長が変化するようになる。ただ、この波長の変化量は僅かなので、従来の光ファイバ通信システムではほとんど問題にはならなかった。

【0003】 最近になると、1本の光ファイバに多数の波長の光を導入する高密度波長分割多重方式 (以下「DWDM」という) の光ファイバ通信システムが主流になりつつあり、使用される複数の発振波長の間隔も 100 GHz、或いは 50 GHz と非常に狭くなってきている。この場合、光源となる半導体レーザに要求される波長安定度は例えば 2×10^5 時間 (約 25 年) で波長変化 ± 1 nm 以下の特性が求められおり、従来の素子温度一定、光出力一定という制御による波長安定化では不十分になってきた。また、素子温度を一定にする制御を行っても、半導体レーザモジュールの環境温度が変化すると発振波長が僅かに変化し、この僅かな変化量が問題になる場合も増えてきた。

【0004】 半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化するために、従来から特開平 10-209546 号公報、特開平 4-157780 号公報、特開平 9-219554 号公報、特開平 10-79723 号公報或いは特開平 9-121070 号公報等いくつかの波長安定化装置が提案されている。しかし、これら従来の半導体レーザの波長安定化装置は、いずれも部品点数が多く、所要スペースが大きくなり、従来から一般に用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収納することが困難であるばかりでなく、安定化の目標とする基準波長の設定が非常に難しく、製作コストが増大するなどの課題があった。

【0005】 本発明の出願人は、これらの課題を解決した波長安定化レーザモジュールを発明し、特願 2000-67606 号として既に出願済みである。図 10 は、この特願 2000-67606 号に添付された明細書及び図面 (以下、先願明細書とする) に記載された波長安定化レーザモジュールの例を示す構成図である。図 10 の波長安定化レーザモジュールは、ケース 809 内に半導体レーザ 801 と、この半導体レーザから拡散放射される後方出射光を平行光束に変換するレンズ 802 と、

このレンズを透過した平行光束の一部を直接受光して電気信号に変換する第1光電変換素子805と、レンズ802を透過した平行光束の一部を入射するエタロン型フィルタ831と、このエタロン型フィルタ831を透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換素子806とを有している。

【0006】半導体レーザ801は、ペルチェ素子を備えた基板807に装着されて駆動中の温度が調節できるようになっている。エタロン型フィルタ831は、図示しない角度調節機構によって入射角が調節できるようになっている。また第1光電変換素子805と第2光電変換素子806とは、図11に示すように、保持基板849上に並列され、アレイ状の光検出器804を形成している。この光検出器804は、半導体レーザへの反射戻り光が生じないように、入射光の光軸に対して傾斜して設置されている。

【0007】このような構成により、前述の波長安定化レーザモジュールは、高精度でありながら部品点数が少なく、スペース効率が良好で従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度に極めてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も簡単であるから製造コストが大幅に低減できるという効果を得ている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、本発明の出願人による先願明細書に記載された波長安定化レーザモジュールで顕著な効果が得らることが分かった。しかし、本発明の発明者等が、その後種々実験を行った結果、更に改良の余地があることが判明した。

【0009】以下、具体的に説明する。まず、図12は、半導体レーザの発振波長 λ を横軸とし、この半導体レーザの出射光の一部を光電変換素子に入射したとき光電変換素子に流れるモニタPD電流 I_m を縦軸としたときの模式的なグラフで、出射光を直接光電変換素子に入射したときの強度モニタPD電流（実線部）と、出射光を例えばエタロン型のような所定のフィルタを通過させた後光電変換素子に入射したときの波長モニタPD電流とを示している。また、先願明細書の段落「0041」にも記載されているとおり、半導体レーザの発振波長は、図13に示すように、素子の温度ばかりでなく半導体レーザの注入電流を変化させることでも変化し、逆に、光出力は注入電流ばかりでなく温度を変化させたときにも変化する。従って、この半導体レーザについて、図12のグラフに基づき、半導体レーザの光出力を一定に保ちながら発振波長を基準波長 λ_0 に制御する場合を考えると、例えば検出された強度モニタPD電流 I_{pd1} と波長モニタPD電流 I_{pd2} とを、 $(I_{pd1} + I_{pd2})$ 及び

$(I_{pd1} - I_{pd2})$ が一定になるように半導体レーザを制御すれば発振波長と光出力とを同時に制御できる。これは、図12から分かるように、半導体レーザの注入電

流と温度との少なくとも一方を制御することにより実現できる。

【0010】しかし、発明者等は種々実験を重ねた結果、図10の波長安定化レーザモジュールにおける発振波長の安定度を更に向上させることができることを見いだした。すなわち、図10の波長安定化レーザモジュールでは、強度モニタPD電流である第1光電変換素子805の電流が図12のQ1～Q4部のように波長により不安定な変化を示していた。そして、このQ1～Q4部を抑制し、第1光電変換素子805の電流の波長依存性を図12の実線で示される強度モニタ電流の波長依存性に近付けることができれば、発振波長の制御を高精度化できることが分かった。そこで、Q1～Q4部発生の原因を詳細に調査した結果、フィルタ831の側端面833に入射した平行光束の一部を側端面833で反射した反射光850及び側端面833から入射しフィルタ831内を多重反射した後出射された多重反射光852を含む迷光が第1光電変換素子805に入射しているため、図12のQ1～Q4部のように不安定な強度モニタPD電流の波長依存性を生じることが分かった。

【0011】本発明は、上記課題を解決するためになされたものであって、レーザ光強度をモニタする光電変換素子への迷光を抑制して強度モニタPD電流を安定化し、半導体レーザの発振波長を一層高精度で安定化できると共に、従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収納できる程度に極めてコンパクトで、部品点数が少なく、しかも製作時には安定化の目標とする基準波長を極めて容易にかつ高精度に設定することができる、低コストの波長安定化ユニット及びこの波長安定化ユニットを用いた波長安定化レーザモジュールを提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】前記の課題を解決するために本発明の波長安定化ユニットは、温度調節手段を備えた半導体レーザの放射光が所定の出射点から出射された出射光の一部を直接受光して電気信号に変換する第1光電変換手段と、前記出射光の一部を直接入射しその波長に依存して透過率が連続的に変化する波長フィルタと、前記波長フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換手段と、前記波長フィルタの側端面部分に照射された前記出射光が前記波長フィルタを介して前記第1光電変換手段に入射するのを防止する迷光防止手段と、を少なくとも有して構成され、前記第1光電変換手段及び第2光電変換手段からの電気信号を演算して得られた前記出射光の波長安定化のための制御信号を前記半導体レーザ及び前記温度調節手段の少なくとも一方にフィードバックして前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長のレーザ光を安定して出力できるようにしている。

【0013】このとき、前記半導体レーザの出射光を平

行光束に変換する光束平行化手段を更に有し、前記第1光電変換手段は前記平行光束の一部を直接受光するようにし、前記波長フィルタは前記平行光束の一部を直接入射するようにしてもよく、更に前記光束平行化手段をレンズであってよい。

【0014】また、前記平行光束の平行度、すなわち光軸に対する偏倚角は±2°以内であることが好ましい。

【0015】これによって波長フィルタの部位によって入射角が異なることによる透過特性への悪影響が最小化され、極めて高精度な波長安定化が達成できるようになる。

【0016】前記迷光防止手段としては、前記出射点と前記波長フィルタの前記出射光が入射する入射面の縁端部とを結ぶ直線及びその延長部と前記波長フィルタの側端面が交差しないように加工した迷光防止波長フィルタを用いることができる。

【0017】また、光束平行化手段を有している場合の前記迷光防止手段としては、前記平行光束が入射する入射面の前記光軸に最も近い第1縁端部と前記光束平行化手段との距離を、前記入射面の前記光軸から最も遠い第2縁端部と前記光束平行化手段との距離よりも大きくし、且つ前記平行光束の光軸と交差しないように前記波長フィルタを実装してもよい。或いは、前記波長フィルタの側端面を、前記平行光束に照射されないように加工した迷光防止波長フィルタを用いることもできる。このとき、前記迷光防止波長フィルタは、少なくとも前記平行光束が照射される前記波長フィルタの側端面を前記平行光束が入射する入射面の縁端部を通る前記平行光束の光軸に平行な直線と交差しないように加工してもよい。また、前記迷光防止波長フィルタの側端面と前記平行光束が入射する入射面とが成す角度を、前記入射面と前記平行光束の光軸の前記迷光防止波長フィルタよりも第1光電変換手段側の部分とが成す角度よりも小さくするようにしてもよい。

【0018】また、前記迷光防止手段として、前記波長フィルタの側端面に少なくとも無反射膜及び光吸収膜を含む材料の中から選択した所定材料をコーティング膜として付着せしめた迷光防止波長フィルタ、或いは前記波長フィルタの側端面に反射膜をコーティングし、且つ前記側端面での反射光が前記第1光電変換素子に照射されないようにした迷光防止波長フィルタを用いることもできる。更に、前記波長フィルタの側端面を粗面加工が施された凹凸面にした迷光防止波長フィルタを用いてもよい。

【0019】前記波長フィルタは、前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長を含む波長帯域内で透過率が波長に依存して単調に増大又は減少する透過特性を有するものであることが好ましい。

【0020】前記基準波長を含む波長帯域内で波長の変化に伴う透過率変化、すなわち透過スペクトルの勾配が

単調に増大又は減少している波長フィルタを選択すれば、基準波長に対して長波長側又は短波長側に変動するレーザ光の波長を、フィルタ透過光の明側変化又は暗側変化として第2光電変換手段が直ちに検知することができる。

【0021】前記波長フィルタは、入射角の調節によって波長に依存する透過率変化の勾配を変化させ得るものであることが好ましい。

【0022】入射角の調節によって波長に依存する透過率変化の勾配を変化させることができれば、前記勾配を急峻にすることによって波長変動に関する検知感度を向上させ高精度の波長安定化が可能になり、一方勾配を緩徐にすれば変動を検知し得る波長帯域幅を拡大することができる。

【0023】前記波長フィルタは、前記基準波長を含まない波長帯域において透過率が最大となるか又は最小となる単峰性の透過特性を有するものであることが好ましい。基準波長が透過特性の最大透過帯又は最小透過帯にあると、波長変動に対する感度が著しく低下する。波長フィルタの透過特性が単峰性であれば、半導体レーザの発振し得る波長帯域内で、存在したとしても僅かな帯域である最大透過帯又は最小透過帯を除いて、広い波長帯域で高感度の波長検出が可能となる。

【0024】前記波長フィルタは、透明基板上に誘電体多層膜が形成された多層膜フィルタを用いてもよい。

【0025】多層膜フィルタはガラス基板の厚さを任意に設定することができるので、基板を薄くしてコンパクトな構成にできる利点がある。

【0026】また前記波長フィルタは、一定波長間隔で透過率が極大と極小とを繰り返す透過率周期を有するエタロン型フィルタを用いることもできる。

【0027】エタロン型フィルタは半導体レーザの発振し得る波長帯域内に複数の極大点と極小点とを有するので、各極大点と極小点とを結ぶスペクトルの勾配にそれぞれ基準波長を設定することができ、単一の装置で波長可変型半導体レーザを光源として用いる多重光伝送システムにおける複数の基準波長の安定化を実現させることができる。

【0028】前記半導体レーザは、温度に依存して複数の波長を発振し得る波長可変型のものであり、且つ前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔は、下記の式1に従って設定されていることが好ましい。

【0029】

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \cdots \text{式1}$$

前記式1中、Dはエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D0は前記半導体レーザが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon}はエタロン型フィルタの温度が1℃変化したときの中心波長の変化量、T_{LD}は前記半導体レーザの温度が1℃変化したときの発振波長の変化量である。但し、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つ

10

20

30

40

50

の波長を示す。

【0030】温度に依存して波長を変化させ得る半導体レーザを用い、前記式1に従って前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔を設定すれば、多重光伝送システムに用いられる複数の基準波長が前記透過率周期の極大点と極小点とを結ぶスペクトル勾配に配位するように設定することができ、これによって半導体レーザが発振する各波長を単一の波長安定化装置で安定化することができる。

【0031】前記フィルタは、石英ガラスより高い屈折率を有する透明基材から形成されていることが好ましい。この石英ガラスより屈折率が高い透明基材はSiであることが好ましい。

【0032】例えばエタロン型フィルタや多層膜フィルタの基材として従来から用いられている石英ガラスより屈折率が高い透明基材を用いれば、フィルタの厚さをより薄くすることができ、装置の所要スペースを一層縮小することができる。Siは透明で屈折率が石英ガラスより高く、且つ半導体分野で広く用いられている比較的安価な基材であるから、本発明に用いるフィルタの基材として好適である。

【0033】前記第1光電変換手段と第2光電変換手段とは保持基板上に並列され、アレイ状の光検出器を形成していることが好ましい。

【0034】本発明の波長安定化ユニットにおいては、第1光電変換手段と第2光電変換手段との間で煩雑な角度合わせを必要としないので、これらを同じ保持基板上に並列した光検出器として用いれば部品点数も組立て工数も削減され製造コストを低減することができる。

【0035】前記第1光電変換手段の受光面は、入射光の光軸から傾斜して配置されていることが好ましい。

【0036】これによって、第1光電変換手段の受光面から半導体レーザへの反射戻りが排除され、戻り光による半導体レーザの発振特性の変化を抑制することができる。

【0037】本発明の波長安定化レーザモジュールは、半導体レーザと、この半導体レーザの温度を調節する温度調節手段と、前記半導体レーザの発振波長を安定化する波長安定化ユニットを備え、この波長安定化ユニットとして上記のいずれかの波長安定化ユニットを用いることができる。

【0038】このとき、前記半導体レーザは、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有するものを用いることができる。

【0039】半導体レーザが電界吸収型半導体光変調器と集積されていると、一般に用いられているDFBレーザと外部変調器とを別個のモジュールとして構成する場合に比べ、光伝送システム全体をコンパクトに構成できるようになる。

【0040】また、前記温度調整手段は、ペルチェ素子

であることが好ましい。ペルチェ素子は任意の温度範囲で電子制御によって温度を精密に設定できると共に、肉薄に構成されているのでモジュール基板と密着してケース内にコンパクトに収容できる。

【0041】また、本発明の波長安定化レーザモジュールは、レーザ光出力手段として光ファイバを有すると共に、少なくとも前記半導体レーザと温度調節手段と上述したいずれかの波長安定化ユニットとが単一ケース内に収納されてなることが好ましい。

【0042】上述した本発明の波長安定化ユニット及びこれを用いた波長安定化レーザモジュールは、波長安定化ユニットの部品点数が少なく調整も容易であることから、従来用いられていた波長安定化ユニットを付属していない半導体レーザモジュールの小型ケース内にも容易に組み込むことができる。

【0043】

【発明の実施の形態】次に、本発明について図面を参照して説明する。尚、以下の説明において同一参照符号は同一構成要素を示すものとし、重複して出てきたときの説明は、適宜省略する。

【0044】図1は、本発明の波長安定化ユニットの第1の実施形態を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と(a)のP1部の拡大図である。また、図2は本実施形態の変形例を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と(a)のP2部の拡大図であり、更に図3は本実施形態の波長安定化ユニット及び半導体レーザ(以下、LDとする)を同一容器に組み込んだ波長安定化レーザモジュールの構成の一例を示す構成図である。図1、2は、いずれも図示されないLDが他のモジュールに組み込まれ、その放射光を光ファイバ14により波長安定化ユニットに導入する場合の一例の構成図である。

【0045】図1を参照すると、本実施形態の波長安定化ユニット110は、波長に依存して透過率が連続的に変化する波長フィルタ31と、光検出器4を備えており、これらは基板71上に搭載されてケース91内に収納されている。光検出器4は、図11の光検出器804と同様の構成で、第1光電変換素子5と第2光電変換手段6とを保持基板49上に並列してアレイ状に備え、第1光電変換素子5はケース91内に導入されている光ファイバ14の端部を出射点58として、この出射点58から拡散放射される半導体レーザからの出射光56の一部を直接受光して電気信号Aに変換し、第2光電変換素子6は同じく出射光56の一部で波長フィルタ31の透過光を受光して電気信号Bに変換し、それぞれの電気信号A、Bを演算回路8に出力する。また、波長フィルタ31は、図示されていない角度調節機構によって入射角が調節できるようになっており、更にその側端面が、出射点58と入射面311の縁端部とを結ぶ直線と交差し

ないように加工されている。具体的には、例えば図 1 (b) のように出射点 58 と縁端部 317 を結ぶ直線と入射面 311 との間の角度を α 度、側端面 313 と入射面 311 との間の角度を β 度としたとき、 $(180 - \alpha) \geq \beta$ となるように側端面 313 を例えば研削等により加工してある。図示されていない他の側端面の少なくとも出射光 56 が照射される部分については全て同様の加工が施されている。

【0046】また、波長フィルタ 31 と光検出器 4 は、出射点 58 への反射戻り光が生じないように出射光 56 の光軸に直交する面に対して傾斜して設置されている。但し、いずれも出射光 56 の光軸と交差しない場合は、必要に応じて出射光 56 の光軸に直交する面と平行に設置することもできる。

【0047】本実施形態の波長安定化ユニット 110 は、図示されていない LD の放射光が光ファイバ 14 を介して、出射点 58 より出射光 56 としてケース 91 内に放射され、その一部が第 1 光電変換素子 5 に直接入射して対応する電気信号 A に変換される。また出射光 56 の他の一部は波長フィルタ 31 に入射し、波長フィルタ 31 は、この入射した光の波長に依存して強度が変化した光を出射し、この波長フィルタ 31 からの出射光が第 2 光電変換素子 6 に入射して対応する電気信号 B に変換される。従って電気信号 A は、LD のその時点での光出力情報を担っており、電気信号 B は、LD のその時点での光出力情報とその時点で LD が発振している光の波長情報とが共に含まれた情報を担っている。このとき波長フィルタ 31 の入射面 311 の角度を光軸に対して適切に調節すれば、電気信号 B は、安定化の目標とする基準波長 λ_0 を中心としてその前後の波長変動の情報を所望の感度で担うことができる。

【0048】波長安定化ユニット 110 は、電気信号 A と電気信号 B とを、演算回路 8 に出力する。演算回路 8 は、電気信号 A と電気信号 B の和と差から、LD の光出力の変動と発振波長の変動を検知し、それぞれ所望の光出力と安定化の目標とする基準波長 λ_0 とから定まる所定の値になるように制御信号 85 を図示されていない LD の注入電流調節装置及び温度調節装置の少なくとも一方に連続的にフィードバックし、LD の光出力及び発振波長を安定化させる。

【0049】本実施形態の波長安定化ユニット 110 は、波長に依存した信号と波長に依存しない信号とを得るために従来用いられていたビームスプリッタなどの部品を用いる必要がないので、部品点数が少なく、スペース効率が良好で、従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度に極めてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も容易であるから製造コストが大幅に低減できる利点を保ちながら、更に、上述のとおり波長フィルタ 31 の側端面の少なくとも出射光 56 が照射される部分は、出射

点 58 と波長フィルタ 31 の入射面 311 の縁端部とを結ぶ直線と交差しないように加工されているので、側端面から入射した多重反射光及び側端面での反射光を含む迷光が生じることはなく、光出力と発振波長を一層高精度に安定化できる利点がある。

【0050】次に、本実施形態の変形例について説明する。図 2 を参照すると、本実施形態の変形例の波長安定化ユニット 110 a は、波長フィルタ 32 の出射光 56 の光軸に近い第 1 縁端部 327 と出射点 58 との間の光軸に沿った距離 h_1 が光軸より遠い第 2 縁端部 328 と出射点 58 との間の光軸に沿った距離 h_2 よりも大きくなるように波長フィルタ 32 を配置しており、入射面 321 に対して側端面 323 を含む各側端面を通常の加工状態である直角に加工しておいても、少なくとも側端面 323 が出射点 58 と波長フィルタ 32 の入射面 321 の縁端部とを結ぶ直線と交差することはなく、波長安定化ユニット 110 の場合と同様の効果が得られる。

【0051】次に、この波長安定化ユニット 110 及び LD を同一容器に組み込んだ図 3 に示す波長安定化レーザモジュール 100 について説明する。尚、波長安定化ユニット 110 a についても全く同様であるので、以下は波長安定化ユニット 110 を代表として説明する。図 3 を参照すると、この波長安定化モジュール 100 は、ケース 92 内に LD 1 と、波長安定化ユニット 110 とを備え、第 1 光電変換素子 5 はこの LD 1 の後方出力光の出力端である出射点 58 L から拡散放射される出射光 56 の一部を直接受光して電気信号に変換し、第 2 光電変換素子 6 は波長フィルタ 31 を透過した出射光 56 の一部を受光して電気信号に変換する。LD 1 は、例えば

ベルチェ素子を備えた基板 72 に装着されて駆動中の温度が調節できるようになっている。この波長フィルタ 31 及び光検出器 4 は、出射点 58 L すなわちこの場合は LD 1 への反射戻り光が生じないように、出射光 56 の光軸と直交する平面に対して傾斜して設置されている。

【0052】また、基板 72 上には、光ファイバ結合用レンズ 18、光アイソレータ 27、温度検出用のサーミスタ 29 などが搭載され、LD 1、波長安定化ユニット 110 と共に、従来の半導体レーザモジュールと同様なサイズのケース 92 内に組み込まれ、これに接続された光ファイバ 140 から光通信用の信号光を出射する構成となっている。基板 72 は付属するベルチェ素子によって温度制御可能とされていて、LD 1 の温度を制御して発振波長を安定化する共に、ケース 92 内の全ての光学部品を一定の温度に制御する。この波長安定化レーザモジュール 100 における発振波長安定化の動作は、上述した波長安定化ユニット 110 の動作と同一であるので説明は省略するが、制御信号 85 は、LD 1 の図示されていない注入電流調節装置及び温度調節装置であるベルチェ素子にフィードバックされるようになっている。

【0053】この波長安定化レーザモジュールは、LD

1と共に波長安定化ユニット110を組み込むことで、光出力と発振波長を一層高精度に安定化しながら、波長に依存した信号と波長に依存しない信号とを得るために従来用いられていたビームスプリッタなどの部品を用いる必要がないので、部品点数が少なく、スペース効率が良好で、従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度に極めてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も容易であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。

【0054】次に、本発明の波長安定化ユニットの第2の実施形態を説明する。

【0055】図4は、本発明の波長安定化ユニットの第2の実施形態を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と(a)のP3部の拡大図である。また、図5は、本実施形態の第1の変形例を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と(a)のP4部の拡大図であり、更に図6は、本実施形態の第2の変形例を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と本実施形態の波長安定化ユニットに用いられる波長フィルタの一例の模式的な斜視図である。また、図7は図6(b)のX-X'線に沿った断面とY-Y'線に沿った断面を模式的に示す図で、

(a)、(b)はそれぞれ側端面に所定材料のコーティング膜を付着せしめた場合と側端面を粗面加工した場合の断面図である。図8も、この第2の変形例を説明するための図である。更に、図9は本実施形態の波長安定化ユニット及びLDを同一容器に組み込んだ波長安定化レーザモジュールの構成の例を示す構成図である。図4、5、6は、いずれも第1の実施形態の場合と同様、図示されないLDが他のモジュールに組み込まれ、その放射光を光ファイバ14により波長安定化ユニットに導入する場合の一例の構成図である。

【0056】図4を参照すると、本実施形態の波長安定化ユニット112は、出射光56を平行光束にする光束平行化手段であるレンズ2と、波長に依存して透過率が連続的に変化する波長フィルタ33と、光検出器4を備えており、これらは基板73上に搭載されてケース93内に収納されている。レンズ2は、ケース93内に導入されている光ファイバ14の端部を出射点58として、この出射点58から拡散放射される半導体レーザからの出射光56を平行光束57にし、第1光电変換素子5はこの平行光束57の一部を直接受光して電気信号Aに変換し、第2光电変換素子6は同じく平行光束57の一部で波長フィルタ33の透過光を受光して電気信号Bに変換し、それぞれの電気信号A、Bを演算回路8に出力する。また、波長フィルタ33は、図示されていない角度調節機構によって入射角が調節できるようになっており、更にその側端面が、波長フィルタ33の入射面331の縁端部を通り平行光束57の光軸55に平行な直線

と交差しないように加工されている。具体的には、例えば図4(b)のように光軸55と入射面331との間の角度を α 度、側端面333と入射面331との間の角度を β 度としたとき、 $(180-\alpha) \geq \beta$ となるように側端面333を例えば研削等により加工してある。図示されていない他の側端面の少なくとも平行光束57が照射される部分については全て同様の加工が施されている。また、波長フィルタ33と光検出器4は、出射点58への反射戻り光が生じないように光軸55に直交する面に対して傾斜して設置されている。

【0057】本実施形態の波長安定化ユニット112は、第1の実施形態の波長安定化ユニット110の出射点58と波長フィルタ33との間に光束平行化手段であるレンズ2を追加した点と、波長フィルタ33の側端面を波長フィルタ33の入射面331の縁端部を通り平行光束57の光軸55に平行な直線と交差しないように加工した点が第1の実施形態と異なっているのみで、その波長安定化動作は第1の実施形態と同様である。

【0058】すなわち、本実施形態の波長安定化ユニット112は、図示されていないLDの放射光が光ファイバ14を介して、出射点58よりケース93内に放射された出射光56をレンズ2により平行化して平行光束57を出射し、その一部が第1光电変換素子5に直接入射して対応する電気信号Aに変換される。また平行光束57の他の一部は波長フィルタ33に入射し、波長フィルタ33は、この入射した光の波長に依存して強度が変化した光を出射し、この波長フィルタ33からの出射光が第2光电変換素子6に入射して対応する電気信号Bに変換される。従って電気信号Aは、LDのその時点での光出力情報を担っており、電気信号Bは、LDのその時点での光出力情報とその時点でLDが発振している光の波長情報とが共に含まれた情報を担っている。このとき波長フィルタ33の入射面331の角度を光軸に対して適切に調節すれば、電気信号Bは、安定化の目標とする基準波長 λ_0 を中心としてその前後の波長変動の情報を所望の感度で担うことができる。

【0059】波長安定化ユニット112は、電気信号Aと電気信号Bとを、演算回路8に出力する。演算回路8は、電気信号Aと電気信号Bの和と差から、LDの光出力の変動と発振波長の変動を検知し、それぞれ所望の光出力と安定化の目標とする基準波長 λ_0 とから定まる所定の値になるように制御信号85を図示されていないLDの注入電流調節装置及び温度調節装置の少なくとも一方に連続的にフィードバックし、LDの光出力及び発振波長を安定化させる。

【0060】本実施形態の波長安定化ユニット112は、実質的に第1の実施形態の波長安定化ユニット110に出射光56を平行光束化するレンズ2のような平行光束化手段を追加するのみで構成でき、光出力を一定に保ちながら、迷光を防止して発振波長を一層安定化しな

がら、従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度に極めてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も容易であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。更に、出射光 56 を平行光束 57 にすることで、電気信号 A、B の信号対雑音比 (S/N 比) をより大きくでき、第 1 の実施形態に比べて発振波長をより安定化できるという効果が得られる。

【0061】次に、本実施形態の第 1 の変形例について簡単に説明する。図 5 を参照すると、本実施形態の第 1 の変形例の波長安定化ユニット 112a は、波長フィルタ 34 の光軸 55 に近い第 1 縁端部 347 と光束平行化手段であるレンズ 2 との間の距離 h_1 が光軸 55 より遠い第 2 縁端部 348 とレンズ 2 との間の距離 h_2 よりも大きくなるように波長フィルタ 34 を配置しており、入射面 341 に対して側端面 343 を含む各側端面を通常の加工状態である直角に加工しておいても、少なくとも側端面 343 が波長フィルタ 34 の入射面 341 の縁端部を通り光軸 55 に平行な直線と交差することはない、波長安定化ユニット 112 の場合と同様の効果が得られる。

【0062】次に、図 6、7、8 を参照して、本実施形態の第 2 の変形例について説明する。本実施形態の第 2 の変形例の波長安定化ユニット 112b は、波長フィルタの構造以外の構成は、波長安定化ユニット 112 と同じであるので、以下波長フィルタの構造についてのみ説明し、他は省略する。

【0063】本変形例の波長安定化ユニット 112b に用いられる波長フィルタ 35 は、その側端面に図 7

(a) のように所定材料のコーティング膜 380 を付着せしめる或いは、図 7 (b) の各側端面 353b、354b、355b、356b のように粗面加工を施してある。

【0064】まず、図 7 (a) のようにコーティング膜 380 を付着せしめる場合、その材料としては、チタン酸化膜 (TiO₂ 膜)、シリコン酸化膜 (SiO₂ 膜) 及びこれらを積層した多層膜を含む無反射膜、アルミニウムを含む金属蒸着膜のような反射膜、並びに例えば黒アルマイト処理のような側端面を黒化する処理を施した光吸収膜等の中から選択すればよい。また、図 7 (b) のような粗面加工としては、例えば側端面をサンドブラスト処理することでもよい。但し、側端面に反射膜を付着せしめる場合、図 8 の反射光 571 ように第 1 光電変換素子 5 に反射光が照射される可能性がある場合は、当該側端面 353 を側端面 353c のように加工し、反射光 575 のように第 1 光電変換素子 5 を照射しないようにしておけばよい。また、この変形例の上記説明では、波長フィルタ 35 の側端面の全周についてコーティング膜 380 を付着せしめる或いは粗面加工する例を示したが、少なくとも光が照射される領域について上記処理が

施されていればよい。また、この第 1、第 2 の変形例は、他の実施形態及びその変形例と任意に組み合わせることもできる。

【0065】本変形例の波長安定化ユニット 112b は、波長フィルタ 35 の側端面を上記のように処理することで、側端面に光が照射されて反射光が生じない或いは、乱反射されて第 1 光電変換素子 5 に届く反射光を著しく低減できるという効果が得られ、側端面を研削等により加工することなく、迷光を大幅に低減できる。

【0066】次に、この波長安定化ユニット 112 及び LD を同一容器に組み込んだ図 9 (a) に示す波長安定化レーザモジュール 102 について説明する。尚、波長安定化ユニット 112 を波長安定化ユニット 112a、112b に置き換えても全く同じであるので、図 9

(b) に図 6 (a) に示す波長安定化ユニット 112b 及び LD を同一容器に組み込んだ場合の模式図を示すが、これらについての説明は省略し、以下は波長安定化ユニット 112 を代表として説明する。図 9 (a) を参照すると、この波長安定化モジュール 102 は、ケース 94 内に LD 1 と、波長安定化ユニット 112 とを備え、第 1 光電変換素子 5 はこの LD 1 の後方出力光の出力端である出射点 58L から拡散放射された出射光 56 をレンズ 2 で平行化した平行光束 57 の一部を直接受光して電気信号 A に変換し、第 2 光電変換素子 6 は波長フィルタ 33 を透過した平行光束 57 の一部を受光して電気信号 B に変換する。また、LD 1 は、例えばペルチェ素子を備えた基板 74 に装着されて駆動中の温度が調節できるようになっている。この波長フィルタ 33 及び光検出器 4 は、出射点 58L すなわちこの場合は LD 1 への反射戻り光が生じないように、平行光束 57 の光軸 55 と直交する平面に対して傾斜して設置されている。

【0067】また、基板 74 上には、光ファイバ結合用レンズ 18、光アイソレータ 27、温度検出用のサーミスタ 29 などが搭載され、LD 1、波長安定化ユニット 112 と共に、従来の半導体レーザモジュールと同様なサイズのケース 94 内に組み込まれ、これに接続された光ファイバ 140 から光通信用の信号光を出射する構成となっている。基板 74 は付属するペルチェ素子によって温度制御可能とされており、LD 1 の温度を制御して発振波長を安定化する共に、ケース 94 内の全ての光学部品を一定の温度に制御する。この波長安定化レーザモジュール 102 における発振波長安定化の動作は、上述した波長安定化ユニット 112 の動作と同一であるので説明は省略するが、制御信号 85 は、LD 1 の図示されていない注入電流調節装置及び温度調節装置であるペルチェ素子にフィードバックされるようになっている。

【0068】この波長安定化レーザモジュール 102 は、LD 1 と共に波長安定化ユニット 112 を組み込むことで、光出力を一定に保ちつつ発振波長の一層の安定化を達成しながら、波長に依存した信号と波長に依存し

ない信号とを得るために従来用いられていたビームスプリッタなどの部品を用いる必要がないので、部品点数が少なく、スペース効率が良好で、従来から用いられているLDモジュールのケース内に収容できる程度に極めてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も容易であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。

【0069】以上説明した各実施形態において、波長フィルタ31～36としては、光の干渉によって非常に狭い波長幅の光だけを透過する特性を持つエタロン型フィルタ、或いは誘電体多層膜をガラス基板上に形成した多層膜フィルタを用いることができる。多層膜フィルタを用いる場合、ガラス基板の厚さを任意に設定することができるので、基板を薄くしてコンパクトな構成にできる利点がある。

【0070】ここで、エタロン型フィルタ及びその作用について詳しく説明する。エタロン型フィルタは、ファブリーペロー干渉計とも言われるように、光の干渉によって非常に狭い波長幅の光だけを透過する特性を持っている。基本構造は、図14に示すように入射面350が高精度(1/100 波長程度)に平面研磨された厚さdの平行な光学ガラスである。光は屈折率nのガラス内部で多重反射を起こす。ここで反射光と透過光が干渉することにより、図15に示すように波長に対して透過率が高い部分と低い部分を繰り返す透過特性を持つフィルタとなる。このフィルタを透過した光を光電変換素子で受光したとき光電変換素子に流れる光電流値も全く同じ波形となるので、以下の説明においては透過率として、透過率に相当する換算値である光電流値を適宜用いる。図15に示す透過率ピークの間隔はFSR(自由スペクトル間隔: Free Spectral Range)と呼ばれている。このFSRの大きさを周波数の単位で表すと、光が垂直に入射するとき、エタロン型フィルタの厚さd、屈折率n、光速cを用いて、

$$FSR = c/2nd \quad \dots \text{式2}$$

と表すことができる。従って、ガラスの屈折率n、厚さdを選択することによってエタロン型フィルタのFSRを任意に設定することができる。

【0071】波長安定化制御を行うに際しては、図16に示すように、エタロン型フィルタの透過率が単調に減少する波長帯域、又は単調に増大する波長帯域に安定化の目標とする基準波長 λ_0 が位置するように設定する。透過率スペクトル上でこの基準波長 λ_0 が位置する点を波長安定化点Sと呼ぶことにする。

【0072】図16に矢印で示したように、いまある透過率ピークの右肩で単調に透過率が減少している帯域の中間に波長安定化点Sを設定する場合を考える。このとき、基準波長 λ_0 となる波長安定化点Sでのエタロン型フィルタの透過率をI0とすると、LDの出射光の波長が基準波長 λ_0 よりも長いときは透過率がI0よりも小

さくなり、逆に基準波長 λ_0 よりも短いときは透過率がI0よりも大きくなる。このように波長安定化点S付近のある波長帯域内であれば、透過率(I)の増減から、その時点におけるLDの出射光の波長を検知することができる。そして、透過率(I)が常にI0を保つように制御することによって、LDの出射波長を安定化させることができる。

【0073】ここで例えば本発明の波長安定化ユニットを用いた波長安定化LDモジュールのLD1の前方光出力が20mWとなるように、第1光電変換素子5で検出される光電流の基準値を設定し、常にこの基準値となるようにLD1の注入電流を制御しておく。この状態では光出力一定モードとなっている。更に、図16に矢印で示した波長安定化点Sに対して、第2光電変換素子6の光電流が基準電流値(すなわち基準透過率)I0となるようにLD1の温度を制御すれば波長安定化が実現される。この場合の制御方法はアナログ電子回路でフィードバックループを形成してもよいし、ADコンバータでデジタルデータに変換しコンピュータ上で制御回路を構築するソフトウェアフィードバックを用いてもよい。

【0074】また、図13(a)、(b)に示すように、LDの発振波長は、LD素子の温度ばかりでなくLDの注入電流を変化させることでも変化し、逆に、光出力は注入電流ばかりでなく温度を変化させたときにも変化する。従って、第1光電変換素子5の光電流を制御して光出力を一定に制御するために、注入電流と素子温度とを同時に制御するフィードバックループを用いてもよい。同様に第2光電変換素子6の光電流を制御して発振波長を一定にするために、注入電流と素子温度を同時に制御するフィードバックループを用いてもよい。

【0075】前記のように、波長安定化レーザモジュールの波長制御性は、エタロン型フィルタの透過特性に大きく依存している。特に図17に示すように、波長安定化点Sを含む透過率周期の肩の部分の勾配、すなわち $dI/d\lambda$ の大きさは、波長安定化のフィードバックループの利得に影響するので非常に重要である。エタロン型フィルタを用いた場合の透過特性の特徴としては、図17のように、エタロン型フィルタの入出射面反射率に大きく依存する。すなわち入出射面の反射率が大きい場合はデルタ関数に近い急峻なピークを持つ透過特性となり、波長安定化点S1での勾配 $dI/d\lambda$ は大きくなる。但し、このとき波長安定化が可能な波長幅は狭くなる。一方、エタロン型フィルタの入出射面反射率が小さい場合はサインカーブ的な緩やかな透過特性となり、波長安定化が可能な波長幅は広くなる。但し、このとき波長安定化点S2での勾配 $dI/d\lambda$ は小さくなる。そこで、反射率を大きくすることは特に高精度の波長安定化が必要な場合に適している。反射率を小さくすることは波長安定化よりも安定化可能な波長帯域幅を大きくしたい場合に適している。

【0076】尚、上記の波長安定化が可能な波長帯域幅を調整するためにはエタロン型フィルタのFSRを調整することが有効である。波長安定化が可能な波長幅を広くするためには、FSRを大きくし、なおかつエタロン型フィルタの入射面反射率を小さくすればよい。勾配 $dI/d\lambda$ が波長安定化を行うのに十分な大きさであれば、本発明の波長安定化レーザモジュールにおいては、任意のFSRを有するエタロン型フィルタを用いることができる。

【0077】本発明の波長安定化レーザモジュールでは、エタロン型フィルタの透過特性を入射角の調節のみで自由に変化させることができる。例えば図18(a)に示すように、予めエタロン型フィルタのFSRを100GHz(0.8nm)と非常に狭い値に設定し、入射面の反射率も60%程度と高めに設定して、エタロン型フィルタ30受光面への平行光束の入射角を 0° とすると、波長安定化点Saにおける勾配は非常に大きくなる。ここで、エタロン型フィルタの入射角を次第に傾斜させると、エタロン型フィルタのFSRは図18(b)、(c)のようにシフトし、更に強くエタロン型フィルタを傾斜させると、図18(d)のようにピークがFSRの幅(1周期分)だけシフトするに至る。このとき、入射角の増加に伴ってエタロン型フィルタの入射面反射率が低下することなどの理由から、透過特性の振幅が小さくなり、図18(e)に示すように波長安定化点Seでの勾配が小さくなる。このように本発明の波長安定化レーザモジュールでは全く同一の部品構成で、単にエタロン型フィルタ30の角度を調整するだけで、安定化する基準波長の設定ばかりでなく、波長安定化のためのフィードバックループにおいて重要なパラメータである波長安定化点Sでの勾配の調整も行うことができる。

【0078】エタロン型フィルタ30の角度を変化させても、光検出器4への光軸はずれないので、安定化する基準波長 λ_0 を設定するためには、エタロン型フィルタ30の入射角を調整するだけでよく、光検出器4の位置などは調整不要である。また、本発明の構成ではそれぞれの光電変換素子5、6の信号を独立に演算回路8に出力するので、波長安定化レーザモジュールのケース内で二つの信号のレベル調整を行う必要がない。すなわち、光検出器4の位置ずれなどに対する許容幅が大きくなる。

【0079】ところで、本発明の波長安定化レーザモジュールがDWDMに適用される場合には、特に高い波長精度を確保することが求められる。そして高い波長精度を得るためには、前記のように波長安定化点Sにおける勾配を大きくすることが有効である。すなわち本発明に用いるフィルタの透過特性の振幅(ON/OFF比)を大きくする必要がある。ここで、例えば図19に示すように、レンズ2により収束された平行光束の平行度が悪

く、すなわち平行からのビーム偏倚角が大きく、ビームが広がり(又は狭まり)を持つ場合、第2光電変換素子6が受光する光には異なる角度でフィルタに入射した光が含まれることになる。一方、例えばエタロン型フィルタには透過特性の入射角依存性があるので、光の入射角に幅がある場合にはフィルタ透過光の波長に帯域幅が生じることになる。いまこの帯域幅を「受光波長幅」と呼ぶと、波長精度を向上しようとするればこの受光波長幅を狭くする必要があることになる。受光波長幅は、例えば100pmを越えると、精度の点でDWDM用の波長安定化装置には適用が困難になることが実験の結果分かった。そこで、受光波長幅が例えば100pm以下となるような光の平行度が求められることになる。

【0080】図20に前記のビーム偏倚角と受光波長幅との関係の一例を示す。図20は、第2光電変換素子6の受光径が0.05mmであり、受光面の中心位置がレンズの中心から0.2mmずれて配置され、またレンズ2の主面位置から受光面までの距離が1mmあり、フィルタは光軸Xに対して垂直に配置された場合の例を示している。図20から明らかなように、DWDM用の波長安定化装置に適用するために受光波長幅を100pm以下にしようとするれば、レンズ2により収束された平行光束の平行度(ビーム偏倚角 β)は $\pm 2^\circ$ 以内とされることが望ましいことが分かる。ところで平行度が $\pm 2^\circ$ 以内となるように実装することは、例えば光ファイバに集光するレンズの実装精度などに比べるとはるかに容易であり、非球面レンズなどの高価な光学部材を用いることなく容易に実現することができる。

【0081】例えば、第2の実施形態の波長安定化ユニットを用いた波長安定化レーザモジュールは、図9

(a)に示すように、基板74上に光ファイバ結合用レンズ18、光アイソレータ27、温度検出用のサーミスタ29などが搭載され、LD1、レンズ2、波長フィルタ33、二つの光電変換素子5、6を備えた光検出器4と共に、従来のLDモジュールと同様なサイズのケース94内に組み込まれ、これに接続された光ファイバ140から光通信用の光を出射する構成となっており、波長フィルタ33をエタロン型フィルタで構成できる。尚、波長安定化ユニットとして本実施形態の変形例を用いた場合は、それぞれの波長安定化ユニットを構成している波長フィルタをエタロン型フィルタで構成できることは言うまでもない。

【0082】基板74は付属する図示されていないペルチェ素子によって温度制御可能とされていて、LD1の温度を制御して発振波長を安定化する共に、ケース内の全ての光学部品を一定の温度に制御する。

【0083】このように本発明の波長安定化ユニットを用いた波長安定化レーザモジュールは、従来のLDモジュールのケースに収納可能な非常にコンパクトな構成となっている。

【0084】尚、本発明の波長安定化ユニットを用いた波長安定化レーザモジュールのLD1として、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有するLD、或いは波長可変型LD等を用いることができる。

【0085】まず、電界吸収型半導体光変調器と集積されたLDを用いた場合、一般に用いられているDFBレーザと外部変調器とを別個のモジュールとして構成する場合に比べ、光伝送システム全体をコンパクトに構成することができる利点がある。

【0086】また、波長可変型LDを用いた場合、波長の異なる複数のチャンネルをカバーすることができ、DWDMシステムにおけるバックアップコストを低減できるという利点がある。波長可変型LDは、一つのレーザ素子でありながら発振波長を変化させることができるものである。近年、急速に広まっているDWDMシステムでは、波長の異なるチャンネル毎に異なるLDを含む光源ユニットが必要である。またバックアップ用にも同数のユニットが必要となり、DWDMシステムのチャンネル数の増大により、バックアップのコストが膨大化する傾向にある。一つの波長可変レーザで複数のチャンネルのバックアップを行うことができれば、コストはその分だけ軽減される。このような用途を中心として、2乃至4チャンネル、又はそれ以上のチャンネルをカバーするような波長可変型LDの需要が高まってきている。最も一般的な構造で、実用化に近いものは、従来のDFBレーザの温度を変化させることにより発振波長を変化させるタイプの波長可変型LDである。通常、波長1.55ミクロン帯のDFBレーザは、素子温度を10℃変化させると、発振波長が約1nm変化する。すなわち、図21に示すように、±1.2℃だけ素子温度を変化させることによって、100GHz(0.8nm)間隔で4チャンネル分に相当する2.4nmをカバーすることができる。

【0087】以下、第2の実施形態の波長安定化ユニット112を組み込んだ図9(a)の波長安定化レーザモジュール102のLD1として、上述した4チャンネルをカバーする波長可変型LDを組み込み、波長フィルタ33としてFSRが90GHzのエタロン型フィルタを用いた例について具体的に説明する。

【0088】このように同一間隔の複数の波長で安定化制御を行うためには、FSRがこの波長間隔と同一のエタロン型フィルタを用い、安定化する基準波長毎に異なる透過率周期を検出する構造にすればよい。但し、実際にはエタロン型フィルタの素材として用いられる一般的な石英ガラスには透過率周期に温度依存性が存在する。例えば、単に一つの基準波長を安定化する場合であれば、制御する温度範囲は±1℃以内程度でよい。しかし波長可変型LDを組み込んでLDの素子温度を24℃も変化させる場合は、エタロン型フィルタの温度特性の影響が無視できなくなる。図22の上段に示すように、一般的なエタロン型フィルタでは温度が10℃変化する毎

に中心波長の位置が0.1nmだけシフトする。

【0089】本例の波長安定化レーザモジュール102では、波長フィルタ33とLD1は同一の温調基板74上に実装し、同一温度になるようにして温度制御を行うようにしているので、LD1の発振波長の変化に伴って基板74の温度が変化する場合、エタロン型フィルタを用いた波長フィルタ33の透過率は温度変化に伴って、図22の下段に示すような波長依存性を示すようになる。すなわち、実装時のFSRは元のFSRよりも広がる。これを実効的なFSRと呼ぶ。そこでこの実効的なFSRをDWDMシステムの波長間隔である100GHz(0.8nm)に整合するように設計すれば、各チャンネルで波長安定化を行うことができるようになる。

【0090】波長フィルタ33として用いるエタロン型フィルタにおける元のFSRと実効的なFSRとは、このエタロン型フィルタの温度特性とLDの発振波長の温度特性を使って次のように表すことができる。

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \cdots \text{式1}$$

式1中、Dはエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D0は前記LDが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon}はエタロン型フィルタの温度が1℃変化したときの中心波長の変化量、T_{LD}は前記LDの温度が1℃変化したときの発振波長の変化量である。但し、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つの波長を示す。

【0091】次に、波長可変型LDにおいて、複数の基準波長を安定化する方法について説明する。

【0092】図21において、ch1からch4までの波長(ここでは1555.75nm〜1558.17nmに設定する)で作動する波長可変型LDを用いる。一方、ch1からch4までの作動温度は図21に示すように、18℃、26℃、34℃、及び42℃である。このときT_{LD}は約0.1nm/℃、T_{etalon}は約0.01nm/℃となるので、実効的なFSRを100GHzにするためには、エタロン型フィルタの元のFSRを90GHzにすればよいことが分かる。その上でこのエタロン型フィルタの角度を調整すれば、各温度での透過率の波長依存性は図22上段のようになり、実効的なFSRは図22の下段のように100GHzとほぼ等しくすることができる。このように設定したエタロン型フィルタを波長モニタ用の第2光電変換素子6の前に設置することで、各チャンネルにおいて単一の基準波長を安定化すると同様に波長安定化を行うことができる。

【0093】前記の例では、エタロン型フィルタの透過率周期の右肩部分の傾斜を用いて波長の安定化を行っているが、透過率周期の左肩を使用しても同様の結果が得られることは言うまでもない。更に、透過率周期の左右双方の肩を用いて、FSRの半分の間隔、ここでは50GHz間隔で波長安定化を行うことも可能である。但し、この場合は、チャンネル毎にフィードバックループにおいて制御方向が反転するので、波長安定化レーザモジュ

ール中で補正する必要がある。

【0094】前記の例では元のエタロン型フィルタのFSRとして90GHzの例を示したが、この値はエタロン型フィルタの温度特性によって最適値が異なるので、エタロン型フィルタの温度特性を求めた後にFSRを設定する必要がある。また、実効的なFSRを複数の基準波長の間隔と合わせる際には、通常、±3%程度の精度があればよい。但し、安定化可能な波長帯域、安定化する波長チャンネル数などに大きく依存し、安定化可能な波長帯域が狭い場合や安定化する波長チャンネル数が多い場合は、より高い精度が必要となる。

【0095】以上例示した各実施形態において、第1及び第2の光電変換素子は、二つの受光面を持つ集積化されたアレイ状の光検出器4として示したが、第1及び第2の光電変換素子はそれぞれ単体の素子を並列して設置してもよい。単体であれ、アレイ状の光検出器であれ、これら第1及び第2の光電変換素子は特性や受光面積が同じであっても異なってもよい。また、波長フィルタの入射面の外形形状は、例えば図6(b)のように四角形のを例示したが、これに限定されるものでなく、側端面が各実施形態で説明した条件を満たすように加工され、出射点からの出射光或いはそれを平行化した平行光束の一部が第1光電変換素子に直接入射し、他の一部が波長フィルタを透過して第2光電変換素子に入射するようにしておけば、任意の形状であってよい。また、波長フィルタの形状に合わせて、出射光又は平行光束の一部が第1光電変換素子に入射するようにし、他の一部が上記各実施形態で説明した波長フィルタに直接入射して透過し、その透過光のみが第2光電変換素子に入射するように光検出器を構成すれば、光検出器の形状も何ら限定されず、任意の形状であってよい。

【0096】また、エタロン型フィルタは、通常石英基材のものが用いられているが、石英基材は高価であるので、これを材料費、加工費の安いSi基材に置き換えることができる。Siは光通信に用いる1.3ミクロン乃至1.6ミクロン帯ではほとんど透明であり、低損失のフィルタとして十分な特性がある。またSiは、近年成熟しつつあるマイクロマシン技術が適用できる可能性が大きく、マイクロマシン技術によってSi基板フィルタの角度調整や位置調整の高精度制御が可能になる可能性がある。更に、Siは石英ガラスよりも屈折率が約2倍高いので、フィルタの厚さを薄くすることができる。特に、FSRを50GHz以下程度の小さい値に設定する場合、石英ガラス基板のエタロン型フィルタでは厚さが2mm以上になり、フィルタのエッジでの回折光が第1光電変換素子5に入射して誤動作を招く可能性がある。このときフィルタ基板としてSiを用いると、FSRが50GHzの場合でもフィルタの厚さは1mm程度となり前記の問題が抑制される。

【0097】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長安定化ユニット及びこの波長安定化ユニットを用いた波長安定化レーザモジュールは、光出力と発振波長を高精度に安定化しながら、部品点数が少なく、スペース効率が良好で従来から用いられているLDモジュールのケース内に収容できる程度に極めてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も簡単であるから製造コストが大幅に低減できるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】本発明の波長安定化ユニットの第1の実施形態を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と(a)のP1部の拡大図である。

【図2】本発明の第1の実施形態の変形例を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と(a)のP2部の拡大図である。

【図3】本発明の第1の実施形態の波長安定化ユニット及びLDを同一容器に組み込んだ波長安定化レーザモジュールの構成の一例を示す構成図である。

20 【図4】本発明の波長安定化ユニットの第2の実施形態を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と(a)のP3部の拡大図である。

【図5】本発明の第2の実施形態の第1の変形例を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と(a)のP4部の拡大図である。

30 【図6】本発明の第2の実施形態の第2の変形例を説明するための図で、(a)、(b)はそれぞれ主要構成を模式的に示す構成図と本実施形態の波長安定化ユニットに用いられる波長フィルタの一例の模式的な斜視図である。

【図7】図6(b)のX-X'線に沿った断面とY-Y'線に沿った断面を模式的に示す図で、(a)、(b)はそれぞれ側端面に所定材料のコーティング膜を付着せしめた場合と側端面を粗面加工した場合の断面図である。

【図8】本発明の第2の実施形態の第2の変形例を説明するための図である。

40 【図9】本発明の第2の実施形態の波長安定化ユニット及びLDを同一容器に組み込んだ波長安定化レーザモジュールの構成の例を示す図で、(a)、(b)はそれぞれ図4(a)の波長安定化ユニットの場合と図6(a)の波長安定化ユニットの場合の構成図である。

【図10】特願2000-67606号に添付された明細書及び図面に記載された波長安定化レーザモジュールの例を示す構成図である。

【図11】図10における光検出器を示す平面図である。

50 【図12】半導体レーザの強度モニタPD電流と波長モニタPD電流の模式的なグラフである。

【図13】半導体レーザの光出力及び波長の変動要因を示す図で、(a)，(b)はそれぞれ注入電流依存性と温度依存性を示す模式的なグラフである。

【図14】エタロン型フィルタの基本構造の一例を示す模式的な斜視図である。

【図15】エタロン型フィルタの波長と透過率との関係を示す透過スペクトル図である。

【図16】エタロン型フィルタにおける波長安定化作用を説明するための透過スペクトル図である。

【図17】エタロン型フィルタの透過特性を説明するための透過スペクトル図である。

【図18】エタロン型フィルタにおけるピーク波長の変化を説明するための透過スペクトル図である。

【図19】レンズ透過光の平行度を示す概念図である。

【図20】ビーム偏倚角と受光波長幅 $\Delta\lambda$ との関係を示すグラフである。

【図21】エタロン型フィルタの透過特性の温度依存性を説明するための透過スペクトル図である。

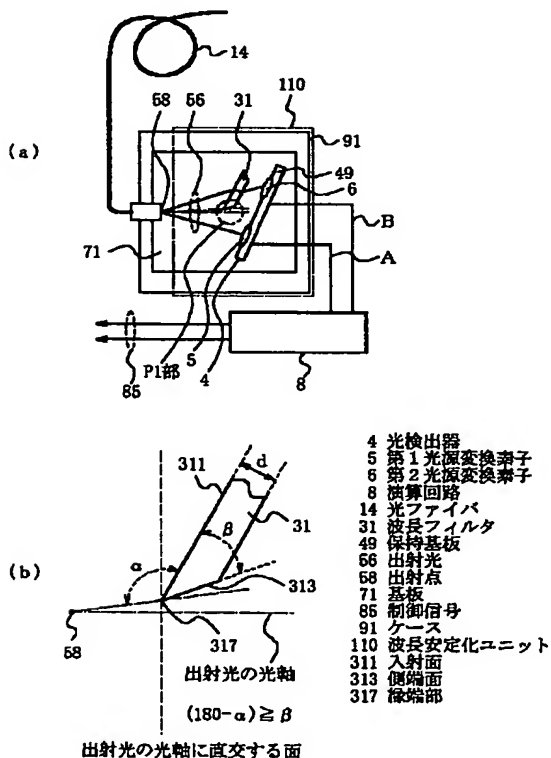
【図22】エタロン型フィルタの透過特性の温度依存性を説明するための透過スペクトル図である。

【符号の説明】

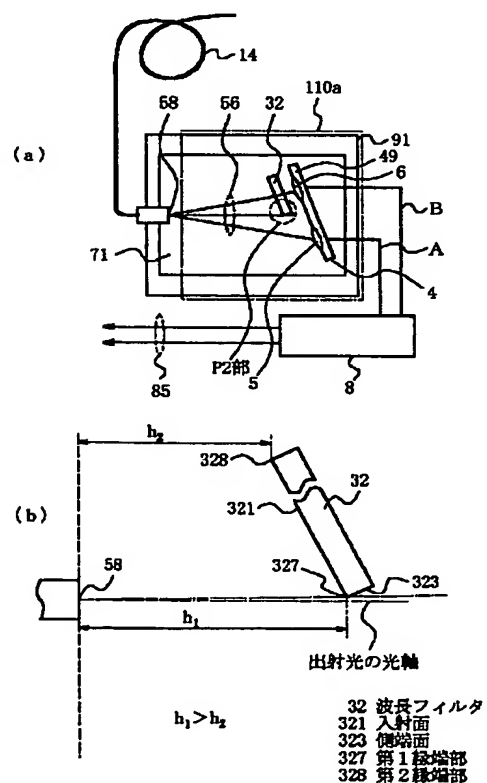
- 1 LD
- 2 レンズ
- 4 光検出器
- 5 第1光電変換素子

- 6 第2光電変換素子
- 8 演算回路
- 14, 140 光ファイバ
- 18 光ファイバ結合用レンズ
- 27 光アイソレータ
- 29 サーマスタ
- 31, 32, 33, 34, 35 波長フィルタ
- 49 保持基板
- 55 光軸
- 56 出射光
- 57 平行光束
- 58, 58L 出射点
- 71, 72, 73, 74 基板
- 85 制御信号
- 91, 92, 93, 94 ケース
- 100, 102 波長安定化レーザモジュール
- 110, 112 波長安定化ユニット
- 311, 331, 341 入射面
- 313, 333, 343, 353b, 354b, 355b, 356b 側端面
- 317 縁端部
- 327, 347 第1縁端部
- 328, 348 第2縁端部
- 350 入出射面
- 380 コーティング膜

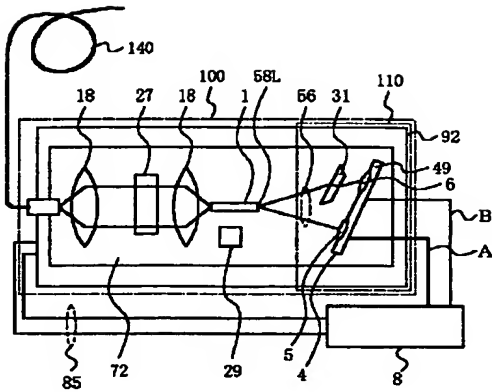
【図1】



【図2】

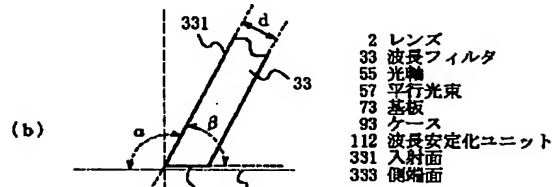
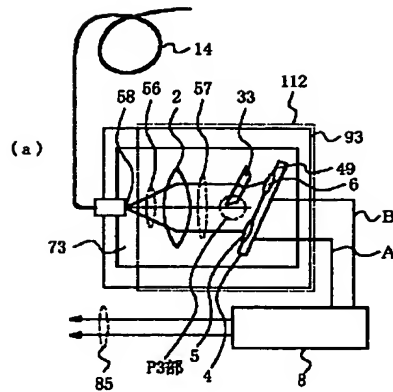


【図3】



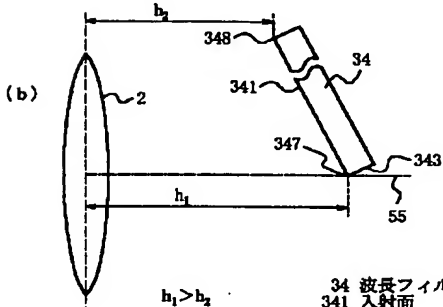
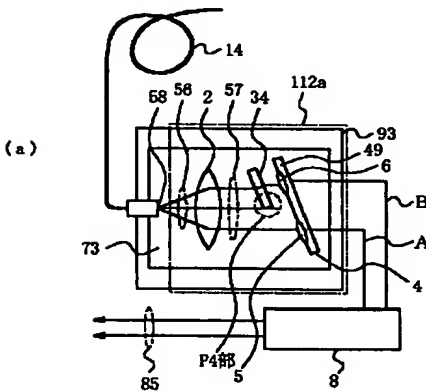
- 1 半導体レーザー
18 光ファイバ結合用レンズ
27 光アイソレータ
29 サーマスタ
58L 出射点
72 基板
92 ケース
100 波長安定化レーザーモジュール
140 光ファイバ

【図4】



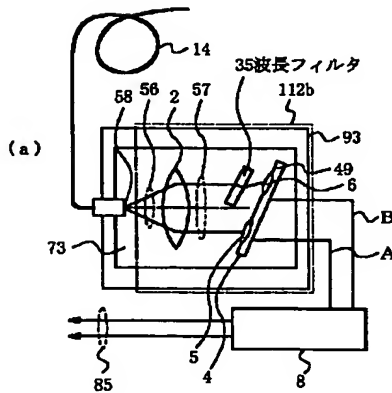
- 2 レンズ
33 波長フィルタ
55 光軸
57 平行光束
73 基板
93 ケース
112 波長安定化ユニット
331 入射面
333 側端面

【図5】

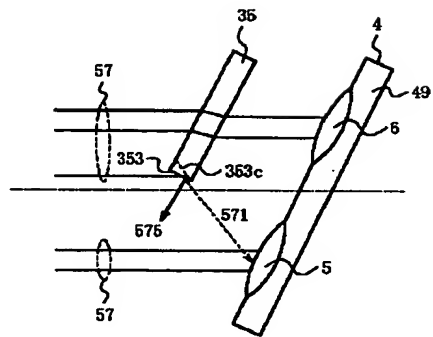


- 34 波長フィルタ
341 入射面
343 側端面
347 第1縁端部
348 第2縁端部

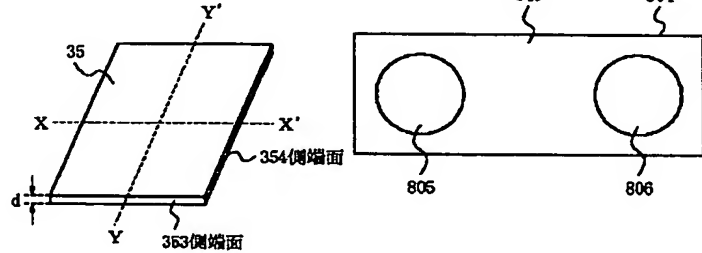
【図6】



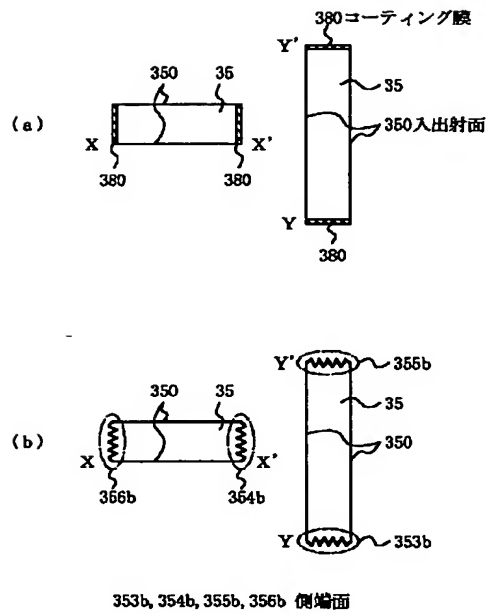
【図8】



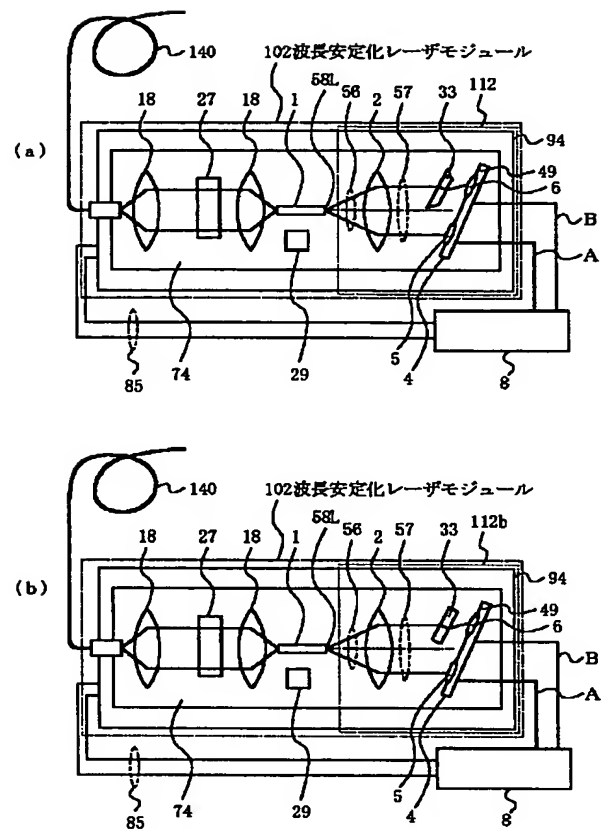
【図11】



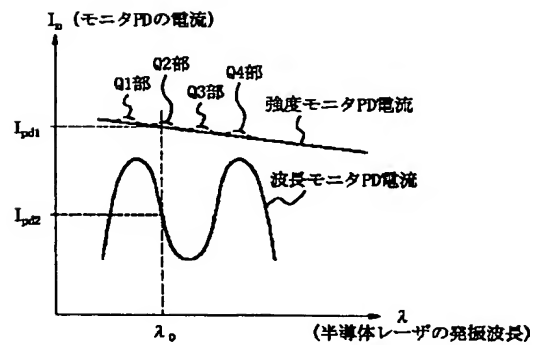
【図7】



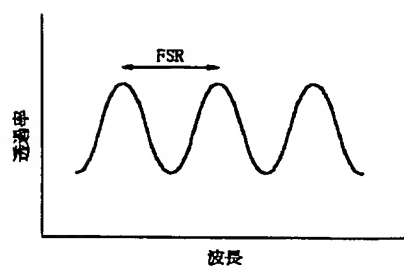
【図9】



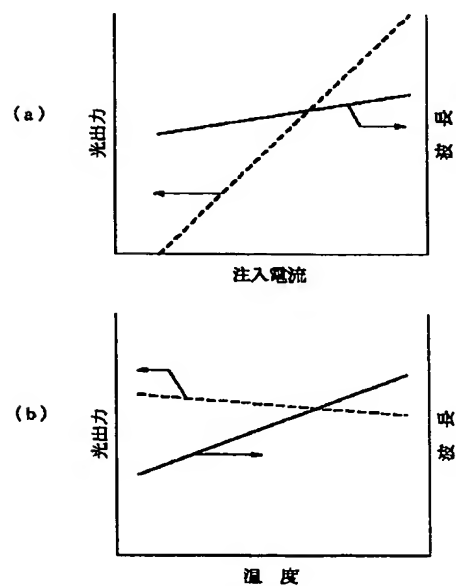
【図12】



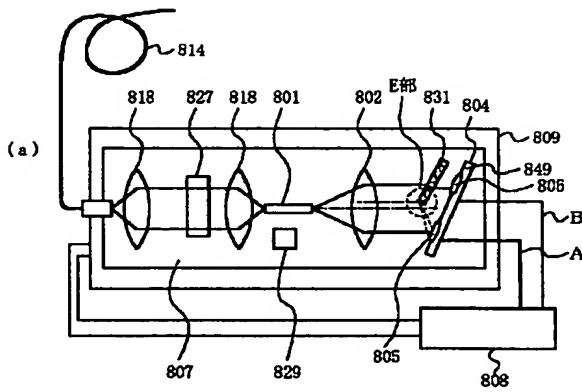
【図15】



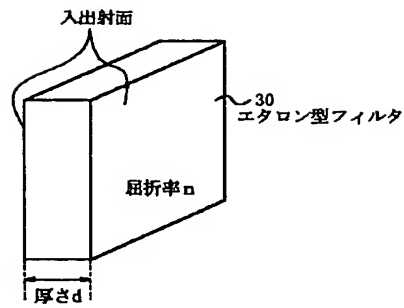
【図13】



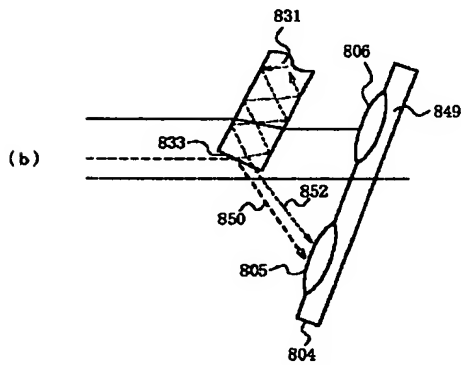
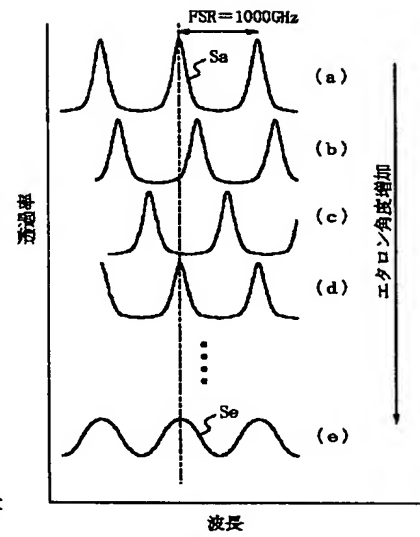
【図10】



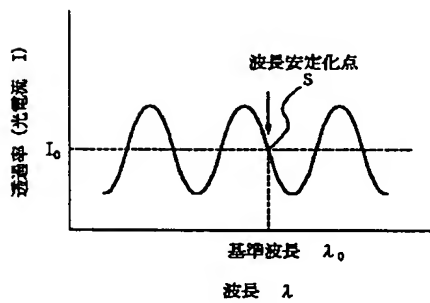
【図14】



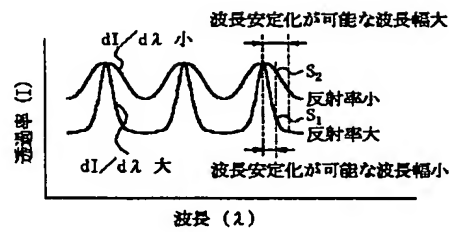
【図18】



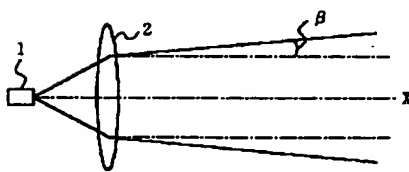
【図16】



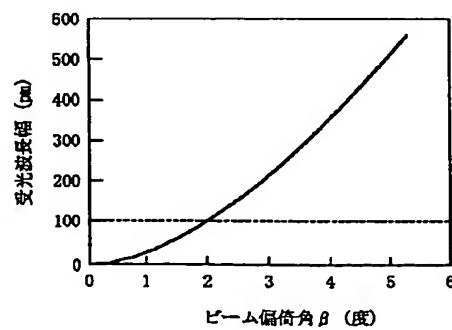
【図17】



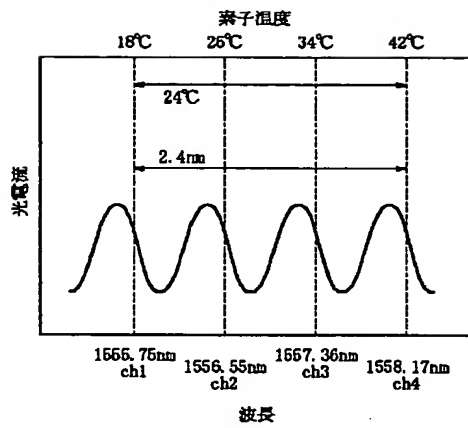
【図19】



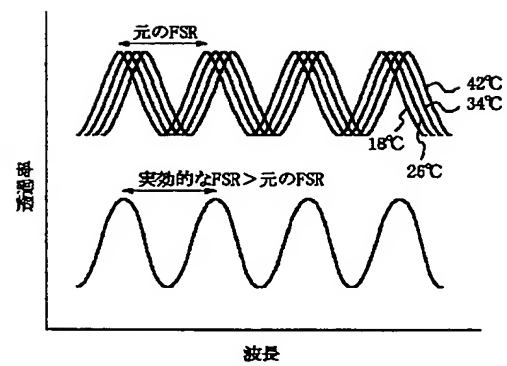
【図20】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H037 AA01 BA12 BA14 CA00
 2H079 AA02 AA13 BA01 DA16 EB04
 5F073 AA64 AB27 AB28 BA01 EA03
 FA02 FA06 FA25

6

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-237651
(P2002-237651A)

(43) 公開日 平成14年8月23日 (2002.8.23)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
H 0 1 S	5/0683	H 0 1 S	5 F 0 7 3
	5/022		
	5/024		

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2001-132746 (P2001-132746)
(22) 出願日 平成13年4月27日 (2001.4.27)
(31) 優先権主張番号 特願2000-371471 (P2000-371471)
(32) 優先日 平成12年12月6日 (2000.12.6)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(72) 発明者 今城 正雄
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内
(72) 発明者 平野 嘉仁
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内
(74) 代理人 100066474
弁理士 田澤 博昭 (外1名)

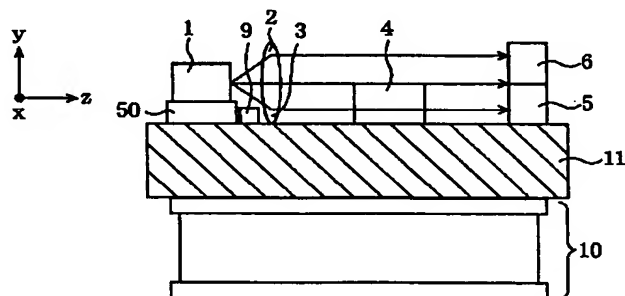
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長モニタ装置および半導体レーザ装置

(57) 【要約】

【課題】 部品点数が少なく廉価で、光学部品のアライメントが簡便であり、経年変化や、温度変化の影響を受けにくい波長モニタ装置および半導体レーザ装置を実現する。

【解決手段】 半導体レーザからの出射光の一部は波長弁別フィルタを透過しフォトダイオードで受光され波長がモニタされる。残りの光線はそのまま別のフォトダイオードで受光して光強度をモニタされる。また、半導体レーザからの出射光は水平方向に集光するものの上方向に対し集光作用を有しないドラムレンズを通過し波長弁別フィルタを透過し、波長がモニタされる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体レーザからの出力光が通過するシリンドリカルレンズと、

前記シリンドリカルレンズを通過した光を受光する第 1 および第 2 の光検出器と、

前記シリンドリカルレンズと前記第 1 の光検出器との間に設けられた波長フィルタと、

を備えた波長モニタ装置。

【請求項 2】 レーザ光を出射する半導体レーザと、前記半導体レーザから出射されたレーザ光を受光する第 1 および第 2 の光検出器と、

前記半導体レーザと前記第 1 の光検出器の間に設けられた波長フィルタと、

前記半導体レーザと前記第 1 および第 2 の光検出器との間に配置されたシリンドリカルレンズと、
を備えた半導体レーザ装置。

【請求項 3】 前記シリンドリカルレンズが、前記半導体レーザと前記波長フィルタとの間に配置されたことを特徴とする請求項 2 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 4】 前記第 1 および第 2 の光検出器が、前記シリンドリカルレンズの軸線に平行な方向に並置されたことを特徴とする請求項 2 もしくは請求項 3 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 5】 前記シリンドリカルレンズを透過したレーザ光のビーム径は、前記並置された第 1 および第 2 の光検出器の受光面を含む平面上で前記シリンドリカルレンズの軸線に平行な第 1 の方向において前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面の合計長さより長く、前記平面上で前記第 1 の方向に直角な第 2 の方向において前記第 1 および第 2 の光検出器のそれぞれの受光面長さより短いことを特徴とする請求項 4 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 6】 前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面は、前記半導体レーザの光軸に対して傾いていることを特徴とする請求項 2 もしくは請求項 3 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 7】 前記シリンドリカルレンズを透過したレーザ光のビーム径は、前記並置された第 1 および第 2 の光検出器の受光面を含む平面上で前記シリンドリカルレンズの配列方向において前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面の合計長さより長く、前記平面上で前記配列方向に直角な方向において前記第 1 および第 2 の光検出器のそれぞれの受光面長さより短いことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 8】 前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面を、前記シリンドリカルレンズを透過して集光された前記後方出射レーザ光の光軸に対するビームの最大角度より大きな角度で、前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面を含む平面上で前記シリンドリカルレンズの軸線に平行な軸回りに傾けたことを特徴とする請求項 6 に記載の

半導体レーザ装置。

【請求項 9】 前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面を含む平面と前記半導体レーザの光軸との交点と前記半導体レーザとの間の光学長を L とし、前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面の前記半導体レーザの光軸からの最遠点までの光学長を D とした時、前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面を、角度 $\tan^{-1}(D/L)$ より大きな角度で、前記第 1 および第 2 の光検出器の受光面を含む平面上で前記シリンドリカルレンズの軸線に垂直な軸回りに傾けたことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 10】 前記シリンドリカルレンズの軸が、前記半導体レーザの光軸からずれていることを特徴とする請求項 6 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 11】 前記半導体レーザと前記第 1 および第 2 の光検出器との間にアパーチャを設けたことを特徴とする請求項 2 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 12】 前記シリンドリカルレンズを支持する支持部材を設け、前記シリンドリカルレンズは、前記支持部材に当接する切り欠き部を有することを特徴とする請求項 2 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 13】 前記シリンドリカルレンズを支持する支持部材を設け、前記支持部材は、前記シリンドリカルレンズに 2 面が当接する切り欠き部を有することを特徴とする請求項 2 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 14】 前記レンズを支持する支持部材を設け、前記レンズは前記支持部材に対し金一錫合金または低融点ガラスを用いて固定されることを特徴とする請求項 2 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 15】 前記第 1 および第 2 の光検出器の少なくとも一方は、複数のフォトダイオードより成ることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 16】 前方出射レーザ光および後方出射レーザ光を出射する半導体レーザと、
前記半導体レーザから出射された後方出射レーザ光を受光する第 1 および第 2 の光検出器と、
前記半導体レーザと前記第 1 の光検出器の間に設けられた波長フィルタと、これらを内部に収容するパッケージと、
前記パッケージに取り付けられ前記半導体レーザの前方出射光をパッケージ外部に通す楔形のウィンドウと、
を備えたことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 17】 前記パッケージは、前記半導体レーザを支持する底部を有し、
前記ウィンドウは前記パッケージの底部側に対面するように傾斜した傾斜面を有することを特徴とする請求項 1

6 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 18】 前記半導体レーザと前記楔形ウィンドウとの間にレンズを設け、
前記楔形ウィンドウとレンズは、楔形ウィンドウからパッケージ内部への戻り光が前記レンズに入射しない位置に離間されて配置されたことを特徴とする請求項 16 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 19】 レーザ光を出射する半導体レーザと、
前記半導体レーザの搭載方向に配列され、前記半導体レーザから当該搭載方向に垂直な方向に出射されたレーザ光を受光する第 1 および第 2 の光検出器と、
前記半導体レーザと前記第 1 の光検出器の間に設けられた波長フィルタとを備え、
前記第 1 および第 2 の光検出器は、前記搭載方向に直交する方向を長手方向とする受光面を有したことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 20】 前記第 1 および第 2 の光検出器は、半円形状の受光面を有したことを特徴とする請求項 19 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 21】 レーザ光を出射する半導体レーザと、
一体のダイオード基板上に並列され、前記半導体レーザから出射されたレーザ光を受光する第 1 および第 2 の光検出器と、
前記半導体レーザと前記第 1 および第 2 の光検出器との間に配置され、入射光を平行光に集光するレンズと、
前記レンズと前記第 1 の光検出器との間に設けられた波長フィルタと、
を備えた半導体レーザ装置。

【請求項 22】 前記半導体レーザが直接もしくは間接的に取り付けられた恒温化素子と、
前記第 1 および第 2 の光検出器の出力の比に基づいて前記恒温化素子を制御する制御回路と、
を備えることを特徴とする請求項 2 から請求項 21 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 23】 前記半導体レーザの温度を測定する温度検出器と、
前記半導体レーザが直接もしくは間接的に取り付けられた恒温化素子と、
前記温度検出器の出力および前記第 1 および第 2 の光検出器の出力の比に基づいて前記恒温化素子を制御する制御回路と、
を備えることを特徴とする請求項 2 から請求項 21 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 24】 前記半導体レーザの温度を測定する温度検出器と、
前記半導体レーザが直接もしくは間接的に取り付けられた恒温化素子と、
前記温度検出器の出力および前記第 1 の光検出器の出力に基づいて前記恒温化素子を制御する制御回路と、
を備えることを特徴とする請求項 2 から請求項 21 のい

ずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 25】 前記第 2 の光検出器の出力に基づいて前記半導体レーザを制御する制御回路を備えることを特徴とする請求項 2 から請求項 21 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体レーザから出力される光の波長を測定する波長モニタ装置および半導体レーザ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光ファイバーを利用した光通信において、高密度波長分割多重 (DWDM) 光通信が行われるようになってきている。この DWDM 光通信では、多数の半導体レーザから出射される様々な波長を有する光が多重化され、多重化された光が一本の光ファイバーに導かれ目的地へ伝送された後、元の多数の光に分割され利用されるものである。近年、この光伝送の効率化を図るために高密度に光を多重化する技術が提案されている。この場合、多重化される光の波長間隔は狭くなり (例えば 50 GHz 間隔のように狭くなり)、互いに干渉を生じさせずに光の多重化を行うためには、それぞれの半導体レーザ装置に対して高い光波長安定度が要求されるようになってきている。そのため、光ファイバーに導かれる半導体レーザの前方出射光とともに同時に射出されるエネルギーレベルの低い後方出射光の光強度および発振波長をモニタ (検出) し、後方出射光の発振波長を制御することにより、前方出射光の発振波長を制御することが行われている。また、光計測の分野においても、半導体レーザからの出射光について光強度と発振波長をモニタすることによって、例えば半導体レーザの単色光の波長などを精度良く測定することが行われている。

【0003】図 23 は、特開平 10-79551 号公報に示された、半導体レーザからの出力光の光強度と発振波長をモニタする、この種の波長モニタ装置の構成を示す図である。半導体レーザ 126 の後方出射光はレンズ 127 によって平行光化される。平行光化された光は 1/4 波長板 128 に入射し、直線偏光を円偏光に変換した後、第 1 の偏光ビームスプリッタ (以下「PBS」と略記する。) 129 に入射する。PBS 129 では第 1 の出射光 130 と第 2 の出射光 131 に分離される。第 1 の出射端面にはバンドパスフィルタ膜 132 を備えており、第 1 の出射光 130 はバンドパスフィルタ膜 132 を透過して第 1 のフォトダイオード 133 にて受光される。第 1 のフォトダイオード 133 の光電流出力は半導体レーザ 126 の発振波長によって変動する。第 2 の出射光 131 は第 2 の PBS 134 に入射して、第 3 の出射光 135 と第 4 の出射光 136 に分離される。第 3 の出射端面にはバンドパスフィルタ膜 137 を備えており、第 3 の出射光 135 はバンドパスフィルタ膜 137

を通過して第2のフォトダイオード138にて受光される。第2のフォトダイオード138の光電流出力は半導体レーザ126の発振波長によって変動する。第4の出射光136はそのまま第3のフォトダイオード139にて受光される。第1のフォトダイオード133、第2のフォトダイオード138の光電流出力を波長モニタとして利用し、第3のフォトダイオード139の光電流出力を半導体レーザの後方出射光の強度モニタとして利用することで、波長と光強度の両方の安定化が可能になる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の波長モニタ装置は以上のように構成されているので、2つのPBS、2つのバンドパスフィルタ膜を用いるため、部品点数が多く、製品コストが高くなるという課題があった。

【0005】また、従来の波長モニタ装置は光の伝播方向が3方向あり、光部品、特に半導体レーザの後方出射光の光線広がり調整するレンズ、PBS、フォトダイオードのアライメントが難しいという課題があった。

【0006】さらに、従来の波長モニタ装置は温度変化または経年変化などによりフォトダイオードが実装されている3つの平面が別々の動きをして半導体レーザ、レンズまたはフォトダイオードなどの光学部品に位置ずれが生じると、半導体レーザから出射される光の強度が一定であっても、各フォトダイオードにて受光される光強度が変動するという課題があった。

【0007】さらに、従来の波長モニタ装置は第2のフォトダイオードと第3のフォトダイオードが互いに直交する異なる平面上に実装されているため、温度変化や経年変化によってフォトダイオードが実装されている平面が別々の動きをし、フォトダイオードの光電流出力が安定しないなどの課題があった。

【0008】一方、特開平5-149793号公報に、半導体レーザとその半導体レーザの発振波長を検出する波長モニタ装置が搭載された半導体レーザ装置が開示されている。また、実開昭58-12831号公報に、光の波長を検知する波長測定装置が開示されている。これらの装置では光源からの光を一方の光検出器では直接に受光し他方の光検出器ではフィルタを介して受光するものである。しかしながら、光検出器は台座上に設置されるのでその上下方向での設置精度は比較的高いものの、水平方向で光検出器を正確に位置づけることはかなり難しい。そのため、2つの光検出器で等量のまたは設定された光を受光するように水平方向において光検出器を設置することは困難であった。また、温度変化または経年変化により2つの光検出器が水平方向において位置ずれを起こすこともあった。その結果、安定して光の波長を正確に検出することは困難なことであった。

【0009】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、複数の偏光ビームスプリッタと複数のバンドパスフィルタを組み合わせる構成する必要が

なく、より簡潔な構成部品で半導体レーザの出力光の強度と発振波長を正確にモニタする波長モニタ装置、および半導体レーザ装置を得ることを目的とする。

【0010】また、この発明は、半導体レーザから出射される光の波長を常に精度良くモニタする波長モニタ装置、および半導体レーザとその半導体レーザの波長をモニタする波長モニタ装置が設けられた半導体レーザ装置を得ることを目的とする。

【0011】

10 【課題を解決するための手段】この発明に係る波長モニタ装置は、半導体レーザからの出力光が通過するシリンドリカルレンズと、前記シリンドリカルレンズを通過した光を受光する第1および第2の光検出器と、前記シリンドリカルレンズと前記第1の光検出器との間に設けられた波長フィルタとを備えたものである。

【0012】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、レーザ光を出射する半導体レーザと、前記半導体レーザから出射されたレーザ光を受光する第1および第2の光検出器と、前記半導体レーザと前記第1の光検出器の間に設けられた波長フィルタと、前記半導体レーザと前記第1および第2の光検出器との間に配置されたシリンドリカルレンズとを備えたものである。

【0013】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記シリンドリカルレンズが、前記半導体レーザと前記波長フィルタとの間に配置されたものである。

【0014】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記第1および第2の光検出器が、前記シリンドリカルレンズの軸線に平行な方向に並置されたものである。

30 【0015】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記シリンドリカルレンズを透過したレーザ光のビーム径は、前記並置された第1および第2の光検出器の受光面を含む平面上で前記シリンドリカルレンズの軸線に平行な第1の方向において前記第1および第2の光検出器の受光面の合計長さより長く、前記平面上で前記第1の方向に直角な第2の方向において前記第1および第2の光検出器のそれぞれの受光面長さより短いものである。

40 【0016】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記第1および第2の光検出器の受光面は、前記半導体レーザの光軸に対して傾いているものである。

【0017】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記シリンドリカルレンズを透過したレーザ光のビーム径は、前記並置された第1および第2の光検出器の受光面を含む平面上で前記シリンドリカルレンズの配列方向において前記第1および第2の光検出器の受光面の合計長さより長く、前記平面上で前記配列方向に直角な方向において前記第1および第2の光検出器のそれぞれの受光面長さより短いものである。

50 【0018】また、この発明に係る半導体レーザ装置

は、前記第1および第2の光検出器の受光面を、前記シリンドリカルレンズを透過して集光された前記後方出射レーザ光の光軸に対するビームの最大角度より大きな角度で、前記第1および第2の光検出器の受光面を含む平面上で前記シリンドリカルレンズの軸線に平行な軸回りに傾けたものである。

【0019】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記第1および第2の光検出器の受光面を含む平面と前記半導体レーザの光軸との交点と前記半導体レーザとの間の光学長を L とし、前記第1および第2の光検出器の受光面の前記半導体レーザの光軸からの最遠点までの距離を D とした時、前記第1および第2の光検出器の受光面を、角度 $\tan^{-1}(D/L)$ より大きな角度で、前記第1および第2の光検出器の受光面を含む平面上で前記シリンドリカルレンズの軸線に垂直な軸回りに傾けたものである。

【0020】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記シリンドリカルレンズの軸が、前記半導体レーザの光軸からずれているものである。

【0021】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記半導体レーザと前記第1および第2の光検出器との間にアパーチャを設けたものである。

【0022】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記シリンドリカルレンズを支持する支持部材を設け、前記シリンドリカルレンズは、前記支持部材に当接する切り欠き部を有するものである。

【0023】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記シリンドリカルレンズを支持する支持部材を設け、前記支持部材は、前記シリンドリカルレンズに2面が当接する切り欠き部を有するものである。

【0024】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記レンズを支持する支持部材を設け、前記レンズは前記支持部材に対し金-錫合金または低融点ガラスを用いて固定されるものである。

【0025】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記第1および第2の光検出器の少なくとも一方は、複数のフォトダイオードより成るものである。

【0026】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前方出射レーザ光および後方出射レーザ光を出射する半導体レーザと、前記半導体レーザから出射された後方出射レーザ光を受光する第1および第2の光検出器と、前記半導体レーザと前記第1の光検出器の間に設けられた波長フィルタと、これらを内部に収容するパッケージと、前記パッケージに取り付けられ前記半導体レーザの前方出射光をパッケージ外部に通す楔形のウィンドウとを備えたものである。

【0027】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記パッケージは、前記半導体レーザを支持する底部を有し、前記ウィンドウは前記パッケージの底部側に対面するように傾斜した傾斜面を有するものである。

【0028】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記半導体レーザと前記楔形ウィンドウとの間にレンズを設け、前記楔形ウィンドウとレンズは、楔形ウィンドウからパッケージ内部への戻り光が前記レンズに入射しない位置に離間されて配置されたものである。

【0029】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、レーザ光を出射する半導体レーザと、前記半導体レーザの搭載方向に配列され、前記半導体レーザから当該搭載方向に垂直な方向に出射されたレーザ光を受光する第1および第2の光検出器と、前記半導体レーザと前記第1の光検出器の間に設けられた波長フィルタとを備え、前記第1および第2の光検出器は、前記搭載方向に直交する方向を長手方向とする受光面を有したものである。

【0030】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記第1および第2の光検出器は、半円形状の受光面を有したものである。

【0031】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、レーザ光を出射する半導体レーザと、一体のダイオード基板上に並列され、前記半導体レーザから出射されたレーザ光を受光する第1および第2の光検出器と、前記半導体レーザと前記第1および第2の光検出器との間に配置され、入射光を平行光に集光するレンズと、前記レンズと前記第1の光検出器との間に設けられた波長フィルタとを備えたものである。

【0032】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記半導体レーザが直接もしくは間接的に取り付けられた恒温化素子と、前記第1および第2の光検出器の出力の比に基づいて前記恒温化素子を制御する制御回路とを備えるものである。

【0033】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記半導体レーザの温度を測定する温度検出器と、前記半導体レーザが直接もしくは間接的に取り付けられた恒温化素子と、前記温度検出器の出力および前記第1および第2の光検出器の出力の比に基づいて前記恒温化素子を制御する制御回路とを備えるものである。

【0034】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記半導体レーザの温度を測定する温度検出器と、前記半導体レーザが直接もしくは間接的に取り付けられた恒温化素子と、前記温度検出器の出力および前記第1の光検出器の出力に基づいて前記恒温化素子を制御する制御回路とを備えるものである。

【0035】また、この発明に係る半導体レーザ装置は、前記第2の光検出器の出力に基づいて前記半導体レーザを制御する制御回路を備えるものである。

【0036】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1は、この発明の半導体レーザ装置の実施の形態1を示す光学系を側面から見た図である。図

において、1は前方(図の左方向)に光信号を出力する半導体レーザであり、この半導体レーザの後方(図の右方向)に射出される後方射出レーザ光である背面光(後方射出光信号2)が射出する方向に、レンズ3、波長フィルタ4、第1のフォトダイオード5、第2のフォトダイオード6が配置してある。レンズ3、波長フィルタ4、第1のフォトダイオード5(第1の光検出器)および第2のフォトダイオード6(第2の光検出器)はベースキャリア11上に配置され、半導体レーザ1はベースキャリア11上に設けられた台座50上に配置される。また、サーミスタ9は半導体レーザ1の近くにてベースキャリア11上に配置され、ベースキャリア11は恒温化素子(ペルチェ素子)10上に配置されて、半導体レーザ装置の図示しないパッケージ内に収容される。また、図において半導体レーザ1の背面光の射出方向をz軸方向(水平面上であって図23において右方向)、台座50に対して半導体レーザが載せられる方向をy軸方向(水平面に直交する上方向)、z、y軸方向に直交する方向をx軸方向(水平面上であって図23において手前に向かう方向)とする。半導体レーザ1内では、活性層(図示省略)および活性層をはさむ両クラッド層(図示省略)がy軸方向に並んでいる。

【0037】次に動作について説明する。半導体レーザ1の後方射出光信号2は、レンズ3によって光線の広がり角を調整される。この光線のxy面に対して平行な平面上の一部分が入射するように波長フィルタ4を配置する。図に示す例では、半導体レーザ1の射出光信号のビーム内における概ね下半分が、波長フィルタ4を通過するように、xy面に対して平行な平面内における下側に波長フィルタ4を配置している。したがって、波長フィルタ4を透過した光線を第1のフォトダイオード5で受光し、波長フィルタ4を通過していない光線を第2のフォトダイオード6で受光する。波長フィルタ4は透過率に波長依存性があり、入射光の波長にしたがって透過光の強度を変化させる性質を持つため、半導体レーザ1の発振波長の変動に伴って、第1のフォトダイオード5の光電流出力は変動する。この第1のフォトダイオード5の光電流出力を波長モニタ出力として利用する。また、第2のフォトダイオード6は、半導体レーザ1からの光線を直接受光しているため、第2のフォトダイオード6の光電流出力は波長依存性を持たず光強度モニタとして利用する。レンズ3による光線の広がり角は、拡散させずに図1に示すように平行光にするのが望ましい。こうすることにより、半導体レーザ1の光軸と第1のフォトダイオード5および第2のフォトダイオード6の光軸との間に軸ずれを生じた場合に、波長フィルタ4を透過した光線が第2のフォトダイオード6に入射して波長フィルタ4を通過していない光線と干渉するのを抑えることができる。これによって第1のフォトダイオード5と第2のフォトダイオード6との間隔をより近づけることが

できるようになる。この例では、1つのフォトダイオード基板上に第1のフォトダイオード5と第2のフォトダイオード6の2つの受光部を近接させて配置している。

【0038】波長フィルタ4の例としてファブリペロ

(以下、FPと略記する。)共振器が挙げられる。FP共振器は、平行に研磨したガラス基板の面上に鏡を堆積させたものである。図2は、波長フィルタとしてFP共振器を使用した時の、第1のフォトダイオード5及び、第2のフォトダイオード6の光電流出力が半導体レーザ1の発振波長によってどのような特性になるかを示したものである。波形7は第1のフォトダイオード5の光電流出力であり、このようにFP共振器を透過した光の電流出力は入射光の波長によって周期的に増減する特性を持つ。したがって、例えば半導体レーザ1の使用波長帯域が、図2に示すように第1のフォトダイオード5における光電流出力が右下がりに大幅に変化する波長帯Bと一致するような波長フィルタ4を用いることによって、第1のフォトダイオード5でモニタする光電流出力の大きさから半導体レーザ1の発振波長をモニタ(検出)することができる。この場合、波長が長波長側になるにつれて光電流出力が減少する特性を有する(或いは、図2に示すように第1のフォトダイオード5における光電流出力が右上がりに大幅に変化する波長帯と一致するような波長フィルタ4を用いても、第1のフォトダイオード5でモニタする光電流出力の大きさから半導体レーザ1の発振波長をモニタ(検出)することができる。この場合は、波長が長波長側になるにつれて光電流出力が増加する特性を有する。)。また、例えば予め実測によって得られた光電流出力と発振波長との換算表をメモリ(図示省略)に格納しておき、CPU(図示省略)にてメモリの換算表を参照することによって、光電流出力値から対応する発振波長を計測することも可能である。波形8は第2のフォトダイオード6の光電流出力であり、こちらは波長フィルタを透過していないので、出力は半導体レーザ1の発振波長に対して変化がない。また、波長フィルタ4は透過光強度が入射光の波長に依存するものであれば、他のものでもかまわない。FP共振器以外の例として、ガラス基板上に誘電体多層膜を堆積させた光バンドパスフィルタ、複屈折結晶と偏光子を用いたフィルタ等がある。また、後方射出光信号の光線全体を受光するものであって、受光する部分において透過光強度が波長依存性を持つ部分と持たない部分とを有する波長フィルタでも構わない。

【0039】次に、波長を安定化させる制御の仕方を説明する。図3は波長分割多重(WDM)半導体レーザ装置に適用される波長モニタ装置での波長安定化制御の方法を示す図であり、この種の波長モニタ装置では、一般に光出力一定制御(以下、APCと略記する。)がAPC回路26によって行なわれ、動作温度一定制御(以下、ATCと略記する。)がATC回路27によって行

なわれている。APC回路26は、半導体レーザ1の後面光出射方向に配置された第2のフォトダイオード6からの光電流出力により、半導体レーザ1の前方から出射される前方出射レーザ光である前面光の強度が一定になるように、半導体レーザ1への電流を調節する。ATC回路27は半導体レーザ1の近くに設置されたサーミスタ9の抵抗値により、恒温化（ペルチェ）素子10によるクーラーに流す電流を調節する。

【0040】この実施の形態による波長モニタ装置を用いたWDM用半導体レーザ装置では、第2のフォトダイオード6からの光電流出力により、APC回路26によって半導体レーザ1の出力を設定出力に一定化させる。例えば、第2のフォトダイオード6からの光電流出力が設定出力より大きいときに、半導体レーザ1へ印加する入力ドライブ電流を小さくし、また第2のフォトダイオード6からの光電流出力が設定出力より小さいときに、半導体レーザ1への入力ドライブ電流を大きくするように制御する。また、温度検出器であるサーミスタ9の抵抗値により、ATC回路27が半導体レーザ1を設定温度に一定に保つ。さらに、第1のフォトダイオード5からの光電流出力が設定された電流値に一定に保たれるように、ATC回路27での設定温度を変えていくことで、半導体レーザ1の波長を設定された基準波長に安定化させることができる。例えば、半導体レーザ1が図2に示すように波長帯Bで使用される場合、第1のフォトダイオード5からの光電流出力が設定出力より大きい場合には半導体レーザ1からの光は基準波長に対し短波長側にずれているので、ATC回路27での設定温度を大きくし、また第1のフォトダイオード5からの光電流出力が設定出力より小さい場合には基準波長に対し長波長側にずれているので、ATC回路27での設定温度を小さくするように調整する（すなわち、第1のフォトダイオード5の出力を反転させずにATC回路27に帰還させる）。

【0041】図1に示した実施の形態では、光線の波長フィルタに入射する部分と、波長フィルタに入射しない部分とを、図中のy軸方向に分割しているが、半導体レーザ1と各フォトダイオードとのアライメント精度に問題のない限りで、x軸方向に分割しても構わない。また、第1のフォトダイオード5と第2のフォトダイオード6の電流出力が、それぞれ波長モニタ及び光強度モニタとして機能している限り、光線の波長フィルタに入射する部分と波長フィルタに入射しない部分とをどのような割合で分割しても構わない。

【0042】なお、上記図1に示した実施の形態では、レンズ3によって半導体レーザ1の後方出射光信号の光線の広がり調整しているが、第1のフォトダイオード5と第2のフォトダイオード6との干渉が問題にならないければ、調整した光線の広がり状態はコリメート状態、発散状態、収束状態のどの状態でも良い。さらに、レン

ズ3が無い形態でも構わない。

【0043】実施の形態2。実施の形態2は、実施の形態1において、第1のフォトダイオード5及び第2のフォトダイオード6の受光部における受光面の形状を、図4に示す形状に変更したものである。図4に示すフォトダイオードは、1つのフォトダイオード素子12に2つのフォトダイオード受光部13、14をもつモノリシクなフォトダイオードであり、このフォトダイオードを用いることによりフォトダイオードの実装を一度に行なうことができ、コストをさらに低減させることが可能である。

【0044】実施の形態3。実施の形態3は、実施の形態1において第1のフォトダイオード5及び第2のフォトダイオード6の受光部における受光面の形状を、図5に示すフォトダイオード形状に変更したものである。実施の形態1では半導体レーザ1から出射され第1のフォトダイオード5および第2のフォトダイオード6に入射する光の有効面積を十分な大きさを確保するためには、半導体レーザ1と第1のフォトダイオード5および第2のフォトダイオード6との互いの光軸が合うように、各光学部品をアライメント調整する必要がある。図1に示したように、半導体レーザ1、レンズ3、第1のフォトダイオード5および第2のフォトダイオード6は、ベースキャリア11あるいはベースキャリア11上に設けられた台座50の上に配置されるため、第1のフォトダイオード5および第2のフォトダイオード6の配列される方向（すなわちy軸方向、あるいは半導体レーザの搭載方向）のアライメントについては比較的精度が良い。これに対し第1のフォトダイオード5および第2のフォトダイオード6の配列方向に垂直な方向（すなわちx軸方向）のアライメントについては、半導体レーザ1や第1のフォトダイオード5および第2のフォトダイオード6を台座50やベースキャリア11に対して固定する際、半田付けや接着などによって行うため、半導体レーザ1と第1のフォトダイオード5および第2のフォトダイオード6との光軸の一致精度が悪くなる。図5に示すフォトダイオードは、1つのフォトダイオード素子15に4つのフォトダイオード受光部16、17、18、19を持つフォトダイオードであり、このフォトダイオードを用いることにより、フォトダイオード受光部16、17に波長フィルタを透過した光線を受光し、フォトダイオード受光部18、19に波長フィルタを通過していない光線を受光する実施形態であれば、半導体レーザ1の後方出射光信号がx軸方向にずれても、フォトダイオードの受光部がx軸方向に増えているため、このずれによるフォトダイオードの光電流出力の減少を補償することができる。よって半導体レーザ、レンズ、フォトダイオードの実装において、x軸方向に関する実装精度を緩和することが可能である。例えば、フォトダイオード受光部18の出力電流とフォトダイオード受光部19の出力電

流の和を取り、その和によって光強度をモニタすることにより、半導体レーザ 1 の光軸とフォトダイオード受光部の光軸との軸ずれによる波長モニタ精度の劣化を緩和することができる。同様に、フォトダイオード受光部 16 の出力電流とフォトダイオード受光部 17 の出力電流の和を取り、その和によって波長に対応したフォトダイオード出力電流をモニタすることにより、半導体レーザ 1 の光軸とフォトダイオード受光部の光軸との軸ずれによる光強度モニタ精度の劣化を緩和することができる。また、要求される実装精度が厳しい場合には、受光部の数を x 軸方向にさらに増やすことによって x 軸方向に関する実装精度をより緩和することが可能である。

【0045】なお、上記図 5 に示すフォトダイオードにおいて、フォトダイオード受光部 16、18 に波長フィルタを透過した光線を受光し、フォトダイオード受光部 17、19 に波長フィルタの通過していない光線を受光する実施形態であれば、半導体レーザ 1 の後方出射光信号が y 軸方向にずれても、フォトダイオードの受光部が y 軸方向に増えているため、このずれによるフォトダイオードの光電流出力の減少を補償することができる。よって半導体レーザ、レンズ、フォトダイオードの実装において、y 軸方向に関する実装精度を緩和することも可能である。また要求される実装精度が厳しい場合には、受光部数を y 軸方向にさらに増やすことによって y 軸方向に関する実装精度を緩和することも可能である。

【0046】実施の形態 4. 実施の形態 4 は、実施の形態 1 において、第 1 のフォトダイオード 5 及び第 2 のフォトダイオード 6 の受光部における受光面を、図 6 に示すような横長形状 (x 軸方向に長い形状) に変更したものである。図 6 に示すフォトダイオードは、1 つのフォトダイオード素子 20 に 2 つの受光部 21、22 を持つフォトダイオードである。受光部 21、22 は x 軸方向に受光部を拡大したものであり、受光部 21 に波長フィルタを透過した光線を受光し、受光部 22 に波長フィルタを透過していない光線を受光する実施形態であれば、半導体レーザ 1 の後方出射光信号が x 軸方向にずれても、フォトダイオードの受光部形状が x 軸方向に拡大してあるため、このずれによるフォトダイオードの光電流出力の減少を補償することができる。よって半導体レーザ、レンズ、フォトダイオードの実装において、x 軸方向に関する実装精度を緩和することが可能である。また、要求される実装精度が厳しい場合には、受光部形状を x 軸方向にさらに増やすことによって x 軸方向に関する実装精度を緩和することが可能である。

【0047】なお、上記図 6 に示すフォトダイオードにおいて、x 軸方向のアライメント精度が問題にならない限り、x、y 軸方向を交換した形状 (すなわち波長フィルタ 4 を x y 面に平行な平面内の下側ではなく、x y 面に平行な平面内の左もしくは右側に配置し、フォトダイオード受光部 21 を左でフォトダイオード受光部 22 を

右、もしくはフォトダイオード受光部 21 を右でフォトダイオード受光部 22 を左に配置した形状) にしてもよい。その場合 y 軸方向に受光部を拡大したフォトダイオードとなり、半導体レーザ 1 の後方出射光信号が y 軸方向にずれても、このずれによるフォトダイオードの光電流出力の減少を補償することができる。よって半導体レーザ、レンズ、フォトダイオードの実装において、y 軸方向に関する実装精度を緩和することが可能である。また要求される実装精度が厳しい場合には、受光部形状を y 軸方向にさらに増やすことによって y 軸方向に関する実装精度を緩和することが可能である。

【0048】実施の形態 5. 実施の形態 5 は、実施の形態 1 において、第 1 のフォトダイオード 5 及び第 2 のフォトダイオード 6 の受光部における受光面の形状を、図 7 に示す形状に変更したものである。図 7 に示すフォトダイオードは 1 つのフォトダイオード素子 23 に 2 つのフォトダイオード受光部 24、25 を持つフォトダイオードである。フォトダイオード受光部 24、25 は半円状の形状である。このフォトダイオード受光部 24、25 の半円形状のそれぞれは光軸および前記第 1、第 2 のフォトダイオードの配列方向に垂直な方向に伸びる弦を有する。半導体レーザ 1 からの出射光信号はほぼ円形のビーム形状をしており、受光部を半円状にすることにより、受光部分をほぼ半導体レーザ 1 のビーム形状に合わせることができ、ビームの面積とフォトダイオード受光部の面積を概ね一致させることができる。したがって、半導体レーザ 1 から出射されるビームを無駄なくフォトダイオードにて受光できるため、フォトダイオードで受光する光線の結合効率を上げることが可能である。また、アライメントの精度を考慮して受光部形状を x 軸方向に拡大した半楕円形状でも構わない。この場合、上記図 6 に示したフォトダイオードと同様に、半導体レーザ、レンズ、フォトダイオードの実装において x 軸方向の実装精度を緩和することが可能である。

【0049】なお、上記図 7 に示すフォトダイオードにおいて、x 軸方向のアライメント精度が問題にならない限り、x、y 軸方向を交換した形状 (すなわち波長フィルタ 4 を x y 面内の下側ではなく、x y 面内の左もしくは右側に配置し、フォトダイオード受光部 24 を左でフォトダイオード受光部 25 を右、もしくはフォトダイオード受光部 24 を右でフォトダイオード受光部 25 を左に配置した形状) にしてもよい。その場合受光部を y 軸方向に拡大し、半楕円形状とすることで、半導体レーザ、レンズ、フォトダイオードの実装において、y 軸方向の実装精度を緩和することが可能である。

【0050】実施の形態 6. 図 8 はこの発明の実施の形態 6 による波長モニタ装置を斜め側方から見た構成図である。なお、この実施の形態 6 の構成要素のうち図 1 または図 3 に示した実施の形態 1 の波長モニタ装置の構成要素と共通するものについては同一符号を付し、その部

分の説明を省略する（以下、各実施の形態において同じ）。

【0051】図において、30は半導体レーザ1（レーザダイオードLD）である。たとえば、半導体レーザ30は活性層中に回折格子を有する分布帰還型（DFB）レーザ、加える電流または温度によって波長を変えることができる波長可変レーザダイオード、または電界吸収素子とレーザダイオードとを並列に配置した複合型（EA/LD）からなる。31は半導体レーザ30から出射される後方出射光（以下、光信号と称する。）を集光する円筒形状（シリンダカル）のドラムレンズ（シリンダカルレンズ）であり、その長手方向（円筒の軸線方向）がy軸方向に一致するように半導体レーザ30の後方に配置される。ドラムレンズ31は入射光を1軸方向（つまりx軸方向）に集光するものの、他の軸（つまりy軸方向）に対し集光作用を有しない1軸集光機能を有するレンズである。それで、ドラムレンズ31で集光された透過光は上下方向（y軸方向）に長く、水平方向（x軸方向）に短い縦長の楕円形状のビームとなる。

【0052】32は透過率に波長依存性がある波長フィルタであり、ドラムレンズ31で1軸集光された光信号の一部（本実施の形態では概ね下半分）を受光し、受光した光の波長にしたがって透過させる光の強度を変化させる性質を持つため、半導体レーザ30の発振波長の変動に伴って透過光の強度が変動する。波長フィルタ32の例として、実施の形態1の波長フィルタ4と同じくフアブリペロ共振器があげられる。しかしながら、入射光の波長に依存する一定の割合（透過率）で入射光の強度を減ずる機能を有するという条件を満たせばいずれの波長フィルタであってもよい。たとえば、干渉型であるエタロンフィルタ、複屈折フィルタ（例えば、YVO4結晶、LiNbO3結晶、偏光子（PBS）の3つの光学部品から成るフィルタ）またはガラス板上にコーティング層を複数積層してなる薄膜フィルタであってもよい。

【0053】33は横長の第1のフォトダイオード（第1の光検出器）であり、ドラムレンズ31で1軸集光された光信号であって波長フィルタ32を通過しない光信号を受光し、その光信号強度（光電流値）をモニタ（検出）する。34は横長の第2のフォトダイオード（第2の光検出器）であり、ドラムレンズ31で1軸集光された光信号であって波長フィルタ32を通過した光信号を受光し、その光信号強度（光電流値）をモニタ（検出）する。ドラムレンズ31を透過した光信号の縦長の楕円状ビームをフォトダイオード33、34において最大限に多く受光すべく、第1のフォトダイオード33は第2のフォトダイオード34の上方に配置されるとともに、フォトダイオード33、34のy軸方向の長さの合計は光信号のy軸方向のビーム径よりも十分に小さく、かつフォトダイオード33、34のそれぞれのx軸方向の幅は光信号のx軸方向のビーム径よりも十分に大きい

（図11（A）参照）。

【0054】また、フォトダイオード33、34はビーム中心と一致する光軸に対して概ね対称に配置される。また、ドラムレンズ31、波長フィルタ32およびフォトダイオード33、34はベースキャリア（図示省略）上に固定して配置される。特に、ドラムレンズ31は金一錫の合金または低融点のガラスを用いてベースキャリアに固定されている。

【0055】ここで、第1のフォトダイオード33でモニタされる光信号強度は半導体レーザ30から出射される光信号そのものの強度を示すので、第1のフォトダイオード33はパワーモニタフォトダイオードとして機能する。また、波長フィルタ32を通過した光信号の強度はその入射光の波長に依存するので、第2のフォトダイオード34でモニタされる光信号強度は半導体レーザ30から出射される光信号の波長に依存して変動する。それで、第2のフォトダイオード34は波長モニタフォトダイオードとして機能する。

【0056】図9は図8に示される波長モニタ装置が用いられる波長モニタ装置の波長制御系を示す波長モニタ装置のブロック図である。図10は実施の形態1にしたがって半導体レーザ1から出射される光信号の円形ビームが両フォトダイオード上で受光される状態を説明する図であり、（A）は光学部品の位置ずれがない場合に光信号の円形ビームが両フォトダイオード上で受光される状態を説明する図であり、（B）は光信号の円形ビームが両フォトダイオードの右側（x軸方向）にずれて受光される状態を説明する図であり、（C）は光信号の円形ビームが両フォトダイオードの上方（y軸方向）へずれて受光される状態を説明する図である。図11は実施の形態6にしたがって半導体レーザ1から出射される光信号の縦長楕円ビームが両フォトダイオード上で受光される状態を説明する図であり、（A）は光学部品の位置ずれがない場合に光信号の縦長楕円ビームが両フォトダイオード上で受光される状態を説明する図であり、（B）は光信号の縦長楕円ビームが両フォトダイオードの上方へずれて受光される状態を説明する図であり、（C）は光信号の縦長楕円ビームが両フォトダイオードの右側にずれて受光される状態を説明する図である。図12はドラムレンズの支持構造を説明する図である。

【0057】図において、35はベースキャリア11

（図示省略）を介して半導体レーザ30と接触する恒温化素子（たとえばペルチェ素子）であり、恒温化素子35で発生する熱は、間接的に取り付けられた部材を通じた熱伝導により半導体レーザ30に与えられる。36は波長制御回路である。波長制御回路36は第1のフォトダイオード33でモニタされる光信号強度S1と第2のフォトダイオード34でモニタされる光信号強度S2との比（S2/S1）を計算し、この比および予め設定された比に基づいて半導体レーザ30から出射される光信

号の波長が設定された波長と比べて短波長側にずれているかまたは長波長側にずれているかを判断し、半導体レーザ 30 から出射される光信号の波長を設定波長に制御すべく恒温化素子 35 で発生する熱量を調節して半導体レーザ 30 の温度を調節する。この場合、信号強度比 $S2/S1$ は半導体レーザ 30 の光出力に対し規格化した値に相当するので、APC 回路 26 において光信号強度 $S1$ にもとづき半導体レーザ 30 から出射される光信号の強度が設定された値に制御されているか否かにかかわらず、光信号の波長と設定波長とのずれを示す。つまり、図 2 に示す波長帯 B 内に設定波長が位置付けられている場合、実施の形態 1 と同様に、信号強度比 $S2/S1$ が設定比よりも大きい場合には光信号の波長は短波長側にずれていると判断し、逆に信号強度比 $S2/S1$ が設定比よりも小さい場合には光信号の波長は長波長側にずれていると判断する。ここで、半導体レーザ 30 の後方出射光が入射するドラムレンズ 31、第 1 のフォトダイオード 33、および第 2 のフォトダイオード 34 にて波長モニタ装置が構成され、この波長モニタ装置と半導体レーザ 30 と恒温化素子 35 をパッケージ内に収容して半導体レーザ装置が構成され、更にこの半導体レーザ装置、APC 回路 26 および波長制御回路 36 を基板上に搭載して所謂光送信器が構成されるが、ここでは光送信器も含めて半導体レーザ装置と呼ぶことにする。なお、波長モニタ装置の他の例として、半導体レーザ装置 30 からの前方出力光を光導波路に接続させ、その光導波路の出力がドラムレンズ 31 を経て、第 1 のフォトダイオード 33、第 2 のフォトダイオード 34 に入射するように構成したもの、あるいは半導体レーザ装置 30 からの前方出力光を分光器で分光させた光をドラムレンズ 31 を経て、第 1 のフォトダイオード 33、第 2 のフォトダイオード 34 に入射するように構成したものであっても、この実施の形態に係る発明の主旨とするところは同じである。

【0058】次に動作について説明する。半導体レーザ 30 から出射された光信号はドラムレンズ 31 において 1 軸集光される。つまり、光信号は x 軸方向に集光されるものの、y 軸方向に対し集光されない。この 1 軸集光された光信号の上方部分は直接に第 1 のフォトダイオード 33 において受光される。第 1 のフォトダイオード 33 は受光した光信号の光信号強度 $S1$ を検出しモニタし、この光信号強度 $S1$ と予め設定された光信号強度との差が実施の形態 1 と同様に APC 回路 26 において算出される。光信号強度 $S1$ は半導体レーザ 30 の光出力を示しているため、その差に応じて半導体レーザ 30 への入力ドライブ電流が APC 回路 26 によって調整され、半導体レーザ 30 の光出力は一定に制御される。また、この 1 軸集光された光信号の下方部分は波長フィルタ 32 を透過する。波長フィルタ 32 は入射光の波長に依存する一定の割合で入射光の強度を減ずる。つまり、

波長フィルタ 32 は波長弁別特性を示す。その後、波長フィルタ 32 を透過した光信号は第 2 のフォトダイオード 34 において受光される。第 2 のフォトダイオード 34 は波長フィルタ 32 を透過した光信号の光信号強度 $S2$ を検出しモニタし、波長制御回路 36 は信号強度比 $S2/S1$ を算出する。信号強度比 $S2/S1$ は、光信号強度 $S1$ の値に関係なく、光信号の波長と設定波長とのずれを示す。それで、波長制御回路 36 は信号強度比 $S2/S1$ および予め設定された信号強度比にもとづき恒温化素子 35 を制御して光信号の波長が設定波長になるように半導体レーザ 30 の温度を調整し、半導体レーザ 30 から出射される光信号の波長を所望の波長に制御する。なお、実施の形態 1 と同様にサーミスタと ATC 回路を設けて恒温化素子 35 を制御しても良く、この場合は、サーミスタの検出温度に基づいて ATC 回路によって半導体レーザ 30 の設定温度を一定に保つように制御し、また波長検出回路の出力に応じて当該設定温度を波長が一定になるように調整を行う（これにより、ATC 回路を設けない場合と比べて波長制御回路 36 の時定数が大きくなりノイズに強くなる。）。また、上述の例では恒温化素子 35 の温度制御によって半導体レーザ 30 の波長を安定化させる例について述べたが、ACC (Auto Current Control) 回路を設けることにより、半導体レーザ 30 に印加して半導体レーザ 30 を駆動するための入力ドライブ電流を、波長制御回路 36 の出力に応じて調整し、光信号の波長が一定になるように制御する構成を用いても良い。

【0059】次に、ドラムレンズ 31 において 1 軸集光する理由を述べる。たとえば実施の形態 1 においては、y 軸方向に並列に並べた 2 つのフォトダイオード 33、34 の全開口面積に比べてサイズが同程度もしくはそれ以下の円形ビームの光信号が半導体レーザ 1 から両軸集光のレンズ 3 を介してフォトダイオード 5、6 で受光される（図 10 (A) 参照）。レンズ 3 等の光学部品に位置ずれが生じてフォトダイオード 5、6 で受光される光信号が x 軸方向へ少しだけずれた場合、それぞれのフォトダイオード 5、6 で受光される光信号のビーム面積は依然としてほぼ同じであり（図 10 (B) 参照）、フォトダイオード 5、6 でモニタされる光信号強度 $S1$ 、 $S2$ はほぼ同じ割合で増減する。それで、信号強度比 $S2/S1$ は x 軸方向への位置ずれにもかかわらずほとんど変化しない。しかしながら、ある程度の位置ずれが x 軸方向へ生じた場合、光信号はフォトダイオード 5、6 で十分に受光されなくなり、波長制御はできなくなる。また、フォトダイオード 5、6 で受光される光信号が位置ずれにより y 軸方向へずれた場合、それぞれのフォトダイオード 5、6 で受光される光信号のビーム面積は大幅に異なることになり（図 10 (C) 参照）、信号強度比 $S2/S1$ はかなり変動し、波長制御において誤作動を引き起こす原因となる。このような不具合を解消するた

めに、本実施例では、入射光をx軸方向に集光するもののy軸方向に対し集光作用を有しないドラムレンズ31を使用する。この場合、フォトダイオード33、34で受光される光信号のビーム径はx軸方向で短くy軸方向で長くなる(図11(A)参照)。それで、光信号のy軸方向のビーム径よりも十分に小さい受光部を有するフォトダイオード33、34を用いることにより、ドラムレンズ31等の光学部品にy軸方向への位置ずれが生じて光信号のy軸方向におけるビームが常にフォトダイオード33、34に入射することになる(図11(B)参照)。光信号のビームのy軸方向での中心部分ではx軸方向のビーム径はほぼ一定であるため、信号強度比 S_2/S_1 はy軸方向の位置ずれにもかかわらずほとんど変化しない。また、光信号のx軸方向のビーム径よりも十分に大きい受光部を有するフォトダイオード33、34を用いることにより、x軸方向への位置ずれが生じて光信号のビームがx軸方向においてフォトダイオード33、34の受光部からはずれることはない(図11(C)参照)。それで、信号強度比 S_2/S_1 はx軸方向の位置ずれにもかかわらず変化しない。また、z軸方向への位置ずれが生じてフォトダイオード33、34上での光信号のビームの大きさが多少変動するだけであり、信号強度比 S_2/S_1 はz軸方向の位置ずれにもかかわらず変化しない。

【0060】その結果、半導体レーザ30、ドラムレンズ31またはフォトダイオード33、34にいかなる方向に位置ずれが生じて信号強度比 S_2/S_1 は実質的に変化せず、したがって位置ずれが生じて常にも正確に波長制御がなされる。

【0061】以上で明らかなように、この実施の形態6によれば、半導体レーザ30から出射される光信号を集光するドラムレンズ31をその長手方向がy軸方向に一致するように配置し、かつx軸方向に横長のフォトダイオード33、34をy軸方向に並列に配置するように構成したので、ドラムレンズ31で得られるx軸方向に集光されるもののy軸方向に対し集光されない光信号は、そのy軸方向のビーム径がフォトダイオード33、34のy軸方向の合計長さよりも十分に大きくかつx軸方向のビーム径がx軸方向長さよりも十分に小さい状態で、フォトダイオード33、34で受光される。それで、半導体レーザ30、ドラムレンズ31またはフォトダイオード33、34にいかなる方向に位置ずれが生じて常にも正確に波長モニタすることができる効果を奏する。また、モニタされた波長に基づき半導体レーザ30から出射される光信号の制御を行うことができる効果を奏する。

【0062】この実施の形態6では、半導体レーザ30から出射される光信号がx軸方向に集光されるようにドラムレンズ31が用いられたが、ドラムレンズ31を透過した光信号のビームがxz面に平行な平面においてz

軸方向に沿って平行化(コリメート)されるように半導体レーザ30とドラムレンズ31との距離を設定してもよい。この場合、フォトダイオード33、34での反射光角度は狭い範囲に限定されるので、フォトダイオード33、34で反射した光が戻り光として半導体レーザ30に戻る現象を防ぐ対策を容易に行うことができる効果を奏する。

【0063】また、この実施の形態6では、横長のフォトダイオード33、34が用いられた。しかしながら、縦長のフォトダイオードをy軸方向に並べてもよい。この場合、ドラムレンズ31で入射光をx軸方向に集光する度合いを上げる必要があるものの、フォトダイオードで受光する光の量が増えるので、波長制御をさらに精度よく行うことができるようになる効果を奏する。

【0064】また、ドラムレンズ31は鉛—錫の合金に比べて融点の高い金—錫または合金に比べて融点の高いガラスを用いてベースキャリアに固定されているので、波長フィルタ装置の製造における後工程でドラムレンズ31またはベースキャリアの温度が上昇してもドラムレンズ31に位置ずれが生じる可能性は大幅に減少する効果を奏する。また、金—錫の合金の引張強度(29kgf/mm²程度)は鉛—錫の合金の引張強度(5.6kgf/mm²程度)よりも大きいので、外部から与えられる波長フィルタ装置への機械的衝撃によりドラムレンズ31に位置ずれが生じる可能性は大幅に減少する効果を奏する。

【0065】また、この実施の形態6では、ベースキャリア(図示省略)上に縦置きで配置されるドラムレンズ31の位置決めが難しくなる可能性がある。このような場合、図12に示すように、ドラムレンズ31の下端面近くをエッジ形状に切り欠き部31aを形成し、この切り欠き部31aに位置決め部材37を当てることによってドラムレンズ31の位置決めを行うようにしてもよい。また、ドラムレンズ31の他の位置決め方法として、位置決め部材37に、y軸方向を溝方向としたV字形状の切り欠き溝を設けて、溝面にドラムレンズ31の円筒面を当接させても良い。もしくは、位置決め部材37をL字状に切り欠き、ドラムレンズ31の円筒面をこのL字状の2面に当接させても良い。

【0066】また、この実施の形態6では、ドラムレンズ31は半導体レーザ30と波長フィルタ32との間に配置されたが、波長の検出精度に問題のない限りで波長フィルタ32とフォトダイオード33、34との間に配置してもよい。

【0067】また、この実施の形態6では、第1のフォトダイオード33は第2のフォトダイオード34の上方に配置されたが、第1のフォトダイオード33を第2のフォトダイオード34の下方に配置してもよい。この場合、波長フィルタ32は、ドラムレンズ31で1軸集光された光信号の上方部分の光を透過させて光強度を減ず

るように配置される。さらに、第1、第2のフォトダイオード33、34の各取付面は、互いに平行であって半導体レーザに対向する位置にあれば、両取付面間に段差が有っても良い。

【0068】また、この実施の形態6では、信号強度比 $S2/S1$ に基づいて波長制御が行われるので、半導体レーザ30から出射される光信号の強度の変動の有無にかかわらず波長制御を精度よく行うことができる。それで、波長制御のみの観点から言えば、APC回路26は必ずしも必要とはしない。

【0069】実施の形態7. 図13はこの発明の実施の形態7による波長モニタ装置を斜め側方から見た構成図である。実施の形態6ではドラムレンズ31はその長手方向が y 軸方向に一致するように配置されかつフォトダイオード33、34は y 軸方向に並列に配置されたが、実施の形態7ではドラムレンズ31はその長手方向が x 軸方向に一致するように配置されかつ y 軸方向に縦長のフォトダイオード33、34が x 軸方向に並列に配置される。それで、ドラムレンズ31で集光された透過光は水平方向(x 軸方向)に長く上下方向(y 軸方向)に短い横長の楕円形状となり、その x 軸方向のビーム径はフォトダイオード33、34の x 軸方向の合計長さよりも十分に大きくかつ y 軸方向のビーム径はフォトダイオード33、34のそれぞれの y 軸方向長さよりも十分に小さい。フォトダイオード33、34は x 軸方向に並列に配置されているので、実施の形態6と同様に、半導体レーザ30またはドラムレンズ31にいかなる方向に位置ずれが生じて信号強度比 $S2/S1$ は実質的に変化せず、したがって位置ずれが生じてても常に正確に波長制御がなされる。

【0070】以上で明らかなように、この実施の形態7によれば、半導体レーザ30から出射される光信号を集光するドラムレンズ31をその長手方向が x 軸方向に一致するように配置し、かつ y 軸方向に縦長のフォトダイオード33、34を x 軸方向に並列に配置するように構成したので、ドラムレンズ31で得られる y 軸方向に集光されるものの x 軸方向に対し集光されない光信号は、その x 軸方向のビーム径がフォトダイオード33、34の x 軸方向の長さ合計よりも十分に大きくかつ y 軸方向のビーム径がフォトダイオード33、34の y 軸方向長さよりも十分に小さい状態で、フォトダイオード33、34で受光される。それで、半導体レーザ30またはドラムレンズ31にいかなる方向に位置ずれが生じてても常に正確に波長モニタすることができる効果を奏する。また、モニタされた波長に基づき半導体レーザ30から出射される光信号の制御を行うことができる効果を奏する。

【0071】この実施の形態7では、ベースキャリア11(図示省略)上にドラムレンズ31は横置きで配置されるので、ドラムレンズ31がベースキャリア11上で転

がり易く位置決めが難しくなる。それで、図14に示すように、ドラムレンズ31表面に互いに対向する2つの平面部(切り込み部)38を設け、片方の平面部38がベースキャリア11に接するようにドラムレンズ31をベースキャリア11上に配置してもよい。この場合、光信号が通過するドラムレンズ31表面上に光反射防止剤(ARコート)をコーティングするのが一般的であるので、ベースキャリア11上にドラムレンズ31を配置する作業において光反射防止剤がコーティングされていない2つの平面部38を把持することによって配置作業の能率化を図ることができるとともに、配置作業においてドラムレンズ31表面上にコーティングされた光反射防止剤を傷つける恐れが無いという効果を奏する。

【0072】また、この実施の形態7では、半導体レーザ30から出射される光信号 y 軸方向に集光するようなドラムレンズ31を用いたが、ドラムレンズ31を透過した光信号のビームが yz 面に平行な平面において z 軸方向に沿って平行化(コリメート)されるように半導体レーザ30とドラムレンズ31との距離を設定してもよい。この場合、フォトダイオード33、34での反射光角度は狭い範囲に限定されるので、フォトダイオード33、34で反射した光が戻り光として半導体レーザ30に戻る現象を防ぐ対策を容易に行うことができる効果を奏する。また、この実施の形態7では、縦長のフォトダイオード33、34が用いられた。しかしながら、 x 軸方向に横長のフォトダイオードを x 軸方向に並べてもよい。この場合、ドラムレンズ31で入射光を y 軸方向に集光する度合いを上げる必要があるものの、フォトダイオードで受光する光の量が増えるので、波長制御をさらに精度よく行うことができるようになる効果を奏する。

【0073】実施の形態8. 図15はこの発明の実施の形態8による波長モニタ装置を xz 面に平行な平面(または真上)から見た構成図であり、図16はフォトダイオードに入射する光信号の入射角および反射光の反射角を説明する図である。実施の形態6においてフォトダイオード33、34上で光信号の一部は反射し、その反射光の一部が半導体レーザ30の出射面に戻り光として戻り半導体レーザ30の特性を劣化させる可能性がある。また、半導体レーザ30の出射面の反射率は高く設定されているので、半導体レーザ30の出射面といずれかのフォトダイオード33、34との間で光信号が共振され、この共振された光信号がフォトダイオード33、34においてノイズとして検出され、波長制御が正確に行うことができなくなる可能性がある。半導体レーザ30への戻り光の発生は、フォトダイオード33、34に入射する光信号の一部が正反射(反射光がドラムレンズ31へ戻るような反射)して半導体レーザ30の出射面に戻ることによって起因する。そこで実施の形態8での波長モニタ装置は、フォトダイオード33、34に入射する光信

号の全てが正反射にならないようにフォトダイオード 33, 34 を y 軸回りに回転させることによって傾けている。

【0074】図 15 において、半導体レーザ 30、ドラムレンズ 31、波長フィルタ 32 およびフォトダイオード 33, 34 からなる光学系の光軸（光ビームの中心軸に一致する）に対するドラムレンズ 31 を透過した光信号のビームの最大角度を α で表した場合、この最大角度 α でフォトダイオード 33, 34 へ入射した光信号の反射光がドラムレンズ 31 へ方向へ戻らないように、フォトダイオード 33, 34 を y 軸回りに回転させることによって傾けて配置される。言い換えれば、フォトダイオード 33, 34 を y 軸回りに回転させることによって角度 α より大きい角度 β で傾けて配置すると光信号の全てが正反射にならない。図 16 に示すように、フォトダイオード 33, 34 を y 軸左回りで傾けた場合、x 軸の正の方向へ光軸に対し最大角度 α で進む光信号のビームは、傾けられたフォトダイオード 33, 34 へその受光面の法線に対し x 軸の負の方向側の入射角 $\beta - \alpha$ で入射し、x 軸の負の方向へ光軸に対して角度 α より大きい角度 $2\beta - \alpha$ で光信号は反射される。x 軸の負の方向へ光軸に対し最大角度 α で進む光信号のビームは、x 軸の負の方向へ光軸に対して角度 α より大きい角度 $2\beta + \alpha$ で反射される。同様に、フォトダイオード 33, 34 を y 軸右回りで傾けた場合、x 軸の負の方向へ光軸に対し最大角度 α で進む光信号のビームは、傾けられたフォトダイオード 33, 34 へその受光面の法線に対し x 軸の負の方向側の入射角 $\beta - \alpha$ で入射し、x 軸の正の方向へ光軸に対して角度 α より大きい角度 $2\beta - \alpha$ で光信号は反射される。x 軸の正の方向へ光軸に対し最大角度 α で進む光信号のビームは、x 軸の正の方向へ光軸に対して角度 α より大きい角度 $2\beta + \alpha$ で反射される。

【0075】具体例として、ドラムレンズ 31 の直径が 2mm であって、半導体レーザ 30 とドラムレンズ 31 との距離が 0.9mm である場合、フォトダイオード 33, 34 を y 軸右回りまたは左回りで角度 20 度より大きい角度で傾けることにより、フォトダイオード 33, 34 に入射する光信号の全てが正反射にならない。

【0076】以上で明らかなように、この実施の形態 8 によれば、光信号のビームの光軸に対する最大角度 α より大きい角度 β でフォトダイオード 33, 34 を y 軸回りに回転させることによって傾けるように構成したので、フォトダイオード 33, 34 に入射する光信号の全てが正反射にならない。したがって、反射光が半導体レーザ 30 の出射面に戻り光として達することはないので、戻り光に起因する半導体レーザ 30 の光出射特性の劣化を防ぐ効果を奏する。また、反射率が高く設定された半導体レーザ 30 の出射面といずれかのフォトダイオード 33, 34 との間で光信号が共振され、この共振された光信号がフォトダイオード 33, 34 においてノイ

ズとして検出されるようなことを防ぐことができる効果を奏する。

【0077】この実施の形態 8 では、実施の形態 6 におけるドラムレンズ 31 の配置に基づき、フォトダイオード 33, 34 が傾けられ、光信号がフォトダイオード 33, 34 で側方（x 軸方向）へ反射された。しかしながら、実施の形態 7 におけるドラムレンズ 31 の配置に基づき、フォトダイオード 33, 34 を傾けるようにしてもよい。この場合、光信号がフォトダイオード 33, 34 で上方（y 軸正の方向）へ反射されるように、フォトダイオード 33, 34 を x 軸回りに回転させることによって光信号のビームの光軸に対する最大角度 α より大きい角度 β で傾けるように構成すればよい。

【0078】実施の形態 9。図 17 はこの発明の実施の形態 9 による波長モニタ装置を yz 面に平行な平面（または真横）から見た構成図であり、図 18 はフォトダイオードに入射する光信号および反射する光信号の光軸に対する角度を説明する図である。実施の形態 6 において光信号のうち下方へ進行するビーム部分がフォトダイオード 33, 34 上で反射すると、その反射光は下方へ向くので、その反射光がベースキャリア 11 等の部品においてさらに反射を繰り返す、最終的にフォトダイオード 33, 34 においてノイズとして検出され、波長制御を正確に行うことができなくなる可能性がある。実施の形態 9 では、フォトダイオード 33, 34 において反射する光が全て上方へ向くように、フォトダイオード 33, 34 を x 軸回りに回転させることによって、フォトダイオード 33, 34 を上向き（y 軸正の方向）に傾けることに特徴がある。なお、ドラムレンズ 31 は y 軸方向への集光作用はなく、かつ第 1 のフォトダイオード 33 は第 2 のフォトダイオード 34 の真上に配置されているので、第 1 のフォトダイオード 33 からの反射光は第 2 のフォトダイオード 34 の反射光よりもさらに上方向へ向く。それで、第 2 のフォトダイオード 34 の下端で反射する光信号のビームが上方向へ向くようにフォトダイオード 33, 34 を傾ければよい。

【0079】図において、半導体レーザ 30、ドラムレンズ 31、波長フィルタ 32 およびフォトダイオード 33, 34 からなる光学系において、フォトダイオード 33, 34 の光軸と交差する点と半導体レーザ 30 との間の光学長（両者間の光伝搬路に有する各光学部品の屈折率と長さの積と、空間の長さとの和）を L で表し、光軸と第 2 のフォトダイオード 34 の下端との光学長を D で表すと、フォトダイオード 33, 34 は x 軸回りの回転により上向きに角度 $\theta_0 = \tan^{-1} (D/L)$ よりも大きい角度 θ で傾けて配置される。この場合、光軸に対し角度 θ_0 で第 2 のフォトダイオード 34 の下端へ入射する光信号は、傾けられた第 2 のフォトダイオード 34 の受光面の下端へ y 軸の負の方向側の入射角 $\theta - \theta_0$ で入射し、光軸に対して角度 θ_0 以上である角度 $2\theta - \theta$

0で光信号はy軸の正の方向へ反射される(図18参照)。

【0080】以上で明らかなように、この実施の形態9によれば、フォトダイオード33、34をx軸回りに回転させることによって上向き(y軸正の方向)に角度 $\theta_0 = \tan^{-1}(D/L)$ よりも大きい角度 θ で傾けるように構成したので、フォトダイオード33、34において反射する光信号のビームが全て上方へ向くようになる。したがって、この反射した光信号がフォトダイオード33、34においてノイズとして検出されるようなことを防ぐことができる効果を奏する。

【0081】この実施の形態9では、実施の形態6におけるドラムレンズ31の配置に基づき、フォトダイオード33、34が傾けられた。しかしながら、実施の形態7におけるドラムレンズ31の配置に基づき、フォトダイオード33、34を傾けるようにしてもよい。この場合、光信号がフォトダイオード33、34で側方へ反射されるように、フォトダイオード33、34をy軸回り(y軸右回りおよびy軸左回りのいずれでもよい)に回転させて角度 $\theta_0 = \tan^{-1}(D/L)$ よりも大きい角度 θ で傾けるように構成すればよい。

【0082】実施の形態10。図19はこの発明の実施の形態10による波長モニタ装置をxz面に平行な平面(または真上)から見た構成図である。実施の形態8では光学系の光軸に対してドラムレンズ31は対称に配置されていたが、実施の形態10ではドラムレンズ31をx軸の正の方向(または負の方向)へずらして配置する。

【0083】図において、フォトダイオード33、34をy軸右回り(またはy軸左回り)で傾けるとともに、ドラムレンズ31の中心軸(軸線)を、光軸の中心と交差する位置からx軸の正の方向(または負の方向)へずらして配置する。この場合、半導体レーザ30からドラムレンズ31へ入射する光信号はドラムレンズ31の中心軸がx軸の正の方向(または負の方向)へずれるので、実施の形態8と比べて、ドラムレンズ31を通過した光信号の向きは、実施の形態8と比べてx軸の負の方向(または正の方向)へ傾いて、第1、第2のフォトダイオード33、34へ入射することになる。それで、第1、第2のフォトダイオード33、34で反射した光信号は、実施の形態8と比べて、さらに半導体レーザ30と離れる方向へ進む。

【0084】以上で明らかなように、この実施の形態10によれば、フォトダイオード33、34をy軸右回り(またはy軸左回り)で傾けるとともに、ドラムレンズ31を光軸からx軸の正の方向(または負の方向)へずらして配置するように構成したので、反射光が半導体レーザ30の出射面に戻り光として達することはさらに防がれ、戻り光に起因する半導体レーザ30の光出射特性の劣化をさらに防ぐことができる効果を奏する。

【0085】この実施の形態10では、実施の形態6におけるドラムレンズ31の配置に基づき、ドラムレンズ31の位置がずらされた。しかしながら、実施の形態7におけるドラムレンズ31の配置に基づきドラムレンズ31の位置をずらしてもよい。この場合、光信号がフォトダイオード33、34でさらに上方へ反射されるように、ドラムレンズ31を光軸からy軸の正の方向へずらして配置するように構成すればよい。

【0086】実施の形態11。図20はこの発明の実施の形態11による波長モニタ装置を斜め上方から見た構成図である。実施の形態6では、半導体レーザ30から出射される光信号の一部はフォトダイオード33、34で受光されることなく余分な光(迷光)として波長モニタ装置を囲むパッケージの壁(図示省略)、ベースキャリア11(図示省略)および他の部材などで多重反射を繰り返す、これらの部材および壁において徐々に吸収されていく。しかしながら、十分に迷光が減衰する前にフォトダイオード33、34で検出された場合、波長制御においてノイズとなる。本実施の形態では迷光がノイズとなることを防ぐ波長モニタ装置について述べる。

【0087】図において、41はドラムレンズ31と波長フィルタ32との間に配置され、ドラムレンズ31側の面が吸光するように黒色塗装されたアパーチャである。アパーチャ41はドラムレンズ31を透過した光信号のうち第1、第2のフォトダイオード33、34の受光部の方向へ向かう光信号のみを通すように開口部を有し、フォトダイオード33、34の受光部の方向へ向かわない光信号は、アパーチャ41にて大部分が吸収され、また残りの部分が第1、第2のフォトダイオード33、34に受光されないようにアパーチャ41より外側方向に反射される。また、ドラムレンズ31を透過した光信号のうちベースキャリア11(図示省略)で反射した後、波長フィルタ32を透過し、次いで第1のフォトダイオード33に達しようとする光信号はベースキャリア11で反射する前にアパーチャ41にて吸収される。

【0088】以上で明らかなように、この実施の形態11によれば、アパーチャ41をドラムレンズ31と波長フィルタ32との間に配置するように構成したので、フォトダイオード33、34の受光部の方向へ向かわない光信号はアパーチャ41にて吸収され、迷光が発生する可能性は大幅に小さくなり、波長モニタをさらに精度良く行うことができる効果を奏する。また、モニタされた波長に基づき半導体レーザ30から出射される光信号の制御をさらに精度良く行うことができる効果を奏する。

【0089】また、波長フィルタ32を透過した後、第1のフォトダイオード33に達する光信号の発生がアパーチャ41によって防がれるので、波長モニタをさらに精度良く行うことができる効果を奏する。

【0090】この実施の形態11では、アパーチャ41はドラムレンズ31と波長フィルタ32との間に配置さ

れた。しかしながら、半導体レーザ 30 とフォトダイオード 33, 34 との間に配置されるのであれば配置位置は制限されない。たとえば、半導体レーザ 30 とドラムレンズ 31 との間に配置してもよく、また波長フィルタ 32 とフォトダイオード 33, 34 との間に配置してもよい。また、アパーチャ 41 は一枚のみ配置されたが複数枚でもよい。この場合、迷光を吸収する機能が増す効果を奏する。また、アパーチャ 41 の開口部は円形状であるがその形は制限されない。

【0091】実施の形態 12. 図 21 はこの発明の実施の形態 12 による半導体レーザ装置を真横から見た構成図である。実施の形態 6 乃至 11 では半導体レーザ 30 から出射される後方出射光に関して述べたが、本実施の形態では半導体レーザ 30 から前方へ出射される出力光信号が反射してフォトダイオード 33, 34 でノイズとして検出されることを防ぐ半導体レーザ装置について述べる。

【0092】図において、51 は半導体レーザ 30 から前方へ出射される出力光信号を集光する第 1 レンズ（出力光レンズ）、52 は下側の幅が細く上側の幅が広い楔形形状に形成されるウインドウ（楔形ウインドウ）である。第 1 レンズ 51 で集光された出力光信号の主要部分はウインドウ 52 を透過するものの、一部はウインドウ 52 の表面で斜め方向へ反射する。この反射した出力光信号が第 1 レンズ 51 に入射しないようにウインドウ 52 と第 1 レンズ 51 との間隔は十分にとられている。53 は第 1 のレンズ 51 で集光されウインドウ 52 を透過した出力光信号を外部の光ファイバー 55 へほとんど減衰なく導くとともに光ファイバー 55 からの戻り光を遮断する光アイソレータであり、54 は光学部品 30, 31, 32, 33, 34、ベースキャリア 11 および恒温化素子 35 をパッケージングする金属のパッケージである。

【0093】次に動作について説明する。半導体レーザ 30 から前方（図において左方向）へ出射される出力光信号は第 1 レンズ 51 で集光され、集光された出力光信号の主要部分はウインドウ 52 を透過し、光アイソレータ 53 をほとんど減衰することなく透過し、前方の光学系（図示省略）を介して外部の光ファイバー 55（図示省略）に結合する。また、第 1 レンズ 51 で集光された出力光信号の一部はウインドウ 52 の表面で反射して後方（図において右方向）へ進行する。また、前方の光学系からの戻り光が光アイソレータ 53 を透過してウインドウ 52 の表面へ入射する。この場合、ウインドウ 52 は下側の幅が細く上側の幅が広い楔形形状に形成されているので、第 1 レンズ 51 で集光された出力光信号がウインドウ 52 の表面で反射されると、後方の斜め下方向へ進むことになる。ウインドウ 52 と第 1 レンズ 51 との間隔は十分にとられているので、反射した出力光信号は、第 1 レンズ 51 での集光を受けることなく半導体レ

ーザ 30 の下方へ進む。半導体レーザ 30 の下方にはベースキャリア 11 および恒温化素子 35 が配置されているので反射した出力光信号は進行を阻まれ半導体レーザ 30 より後方へ進行することはない。それで、反射した出力光信号がフォトダイオード 33, 34 でノイズとして検出されることはない。また、楔形形状に形成されるウインドウ 52 はその厚みが上下方向において徐々に変化する形状であるので、出力光信号がウインドウ 52 内部で共振を起こすようなことはない。

10 【0094】以上で明らかなように、この実施の形態 12 によれば、下側の幅が細く上側の幅が広い楔形形状に形成されるウインドウ 52 を半導体レーザ 30 から前方へ出射される出力光信号に対して設け、ウインドウ 52 と第 1 レンズ 51 との間隔を十分にあげるように構成したので、ウインドウ 52 で反射した出力光信号およびウインドウ 52 を透過する戻り光がフォトダイオード 33, 34 でノイズとして検出されることはない。

20 【0095】この実施の形態 12 では、楔形形状に形成されるウインドウ 52 を配置したが、平板のウインドウを、前方へ出射される出力光信号が後方斜め下方向に反射されるように、傾けて配置してもよい。この場合、半導体レーザ装置の構造は簡略されるものの、平板のウインドウ内で出力光信号がエタロン効果で共振を起こす可能性がある。

30 【0096】実施の形態 13. 図 22 はこの発明の実施の形態 13 による波長モニタ装置を斜め上方から見た構成図である。実施の形態 1 で述べたように、温度変化および経年変化などによる光学部品の x 軸方向におけるアライメント精度の劣化は y 軸方向におけるそれよりも激しい。それで、フォトダイオード 33, 34 に要求される x 軸方向における光強度検出の精度は y 軸方向におけるそれよりも高い。本実施の形態ではフォトダイオード 33, 34 のセット（ツインフォトダイオード）を x y 面に平行な平面内において x 軸方向に複数個並べて配置し、x 軸方向における光強度検出の精度を向上させた波長モニタ装置について述べる。

40 【0097】図において、61 は波長フィルタ 32 と同じ機能を有する横長な波長フィルタであって、ドラムレンズ 31 を透過した光信号が x 軸方向に並列に配置される第 2 のフォトダイオード 34 群に達する前に入射光の波長に依存する一定の割合で入射光の強度を減ずる。フォトダイオード 33, 34 のセット群は、1 つのフォトダイオード素子に複数の受光部を形成することによって得られ、受光部間の間隔は可能な限り狭く設定される。それで実施の形態 6 と比べて、x 軸方向に比較的幅広な縦長の楕円形状を有する光信号のビームをフォトダイオード 33, 34 のセット群において受光することができる。つまり、x 軸方向における受光面積が増えるので x 軸方向における光強度検出の精度（トレランス）が向上する。

【0098】以上で明らかなように、この実施の形態13によれば、フォトダイオード33、34のセットをx-y面に平行な平面内においてx軸方向に複数個並べて配置するように構成したので、x軸方向における光強度検出の精度(トレランス)を向上させることができる効果を奏する。

【0099】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、偏光ビームスプリッタを用いずに波長と光強度の両方をモニタでき、部品点数を抑えることができるため、製品コストの低減が可能である。また、フォトダイオードに入射する光線の伝播方向が1方向であるため、アライメントを容易に調整することが可能であるという効果がある。

【0100】また、この発明によれば、波長をモニタするフォトダイオードと光強度をモニタするフォトダイオードが同一平面上にあるため、経年変化や温度変化がフォトダイオードの光電流出力に与える影響を小さくすることができる効果がある。

【0101】また、この発明によれば、半導体レーザとフォトダイオードとの光軸精度を向上させることが可能である効果がある。

【0102】また、この発明によれば、前記半導体レーザと前記第1および第2の光検出器との間にシリンドリカルレンズを配置することにより、半導体レーザ、シリンドリカルレンズまたは両光検出器に水平方向および上下方向により形成される面に平行な面内においていかなる方向に位置ずれが生じて、常に正確に波長モニタすることができる効果がある。

【0103】また、この発明によれば、レンズの位置決め用に支持部材を設けたので、レンズの配置が容易に行うことができる効果がある。

【0104】また、この発明によれば、第1の光検出器および第2の光検出器の受光面を傾けるように構成したので、戻り光に起因する半導体レーザの光出射特性の劣化を確実に防ぐことができる効果がある。

【0105】また、この発明によれば、レンズの中心を光軸から第1の軸方向へずらすように構成したので、戻り光に起因する半導体レーザの光出射特性の劣化を防ぐことができる効果がある。

【0106】また、この発明によれば、半導体レーザと第1および第2の光検出器との間にアパーチャを設けたので、迷光が発生する可能性は大幅に小さくなり、波長モニタをさらに精度良く行うことができる効果がある。

【0107】また、この発明によれば、半導体レーザから出射される出力光信号をパッケージの外へ通す楔形形状のウィンドウを備えたので、ウィンドウからの戻り光が第1の光検出器または第2の光検出器でノイズとして検出されることを防止することができる効果がある。

【0108】また、この発明によれば、半導体レーザと楔形ウィンドウとの間に、ウィンドウからの戻り光が入

射しない位置にレンズを設け、楔形ウィンドウで反射した戻り光が第1の光検出器または第2の光検出器でノイズとして検出されることをさらに防止することができる効果がある。

【0109】また、この発明によれば、前記第1および第2の光検出器の少なくとも一方が複数のフォトダイオードより成るので、水平方向における光強度検出の精度(トレランス)を向上させることができる効果がある。

【0110】また、この発明によれば、前記半導体レーザが直接もしくは間接的に取り付けられた恒温化素子と、前記第1の光検出器の出力に基づいて前記恒温化素子を制御する制御回路とを備えたので、モニタされた光信号の波長に基づき光信号の波長を正確に制御することができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1を示す波長モニタ装置の光学系図である。

【図2】 この発明の実施の形態1における第1のフォトダイオード及び第2のフォトダイオードの光電流出力特性を示す図である。

【図3】 この発明の実施の形態1における半導体レーザ装置に適用される波長モニタ装置での波長安定化制御の方法を示す図である。

【図4】 この発明の実施の形態2に使用するフォトダイオード形状である。

【図5】 この発明の実施の形態3に使用してアライメント精度をさらに緩和することのできるフォトダイオード形状を示す図である。

【図6】 この発明の実施の形態4に使用してアライメント精度をさらに緩和することのできるフォトダイオード形状を示す図である。

【図7】 この発明の実施の形態5に使用してアライメント精度をさらに緩和することのできるフォトダイオード形状を示す図である。

【図8】 この発明の実施の形態6による波長モニタ装置を斜め側方から見た構成図である。

【図9】 図8に示される波長モニタ装置が用いられる半導体レーザ装置の波長制御系を示す波長モニタ装置のブロック図である。

【図10】 実施の形態1にしたがって半導体レーザから出射される光信号の円形ビームが両フォトダイオード上で受光される状態を説明する図であり、(A)は光学部品の位置ずれがない場合に光信号の円形ビームが両フォトダイオード上で受光される状態を説明する図であり、(B)は光信号の円形ビームが両フォトダイオードの左側にずれて受光される状態を説明する図であり、

(C)は光信号の円形ビームが両フォトダイオードの上方へずれて受光される状態を説明する図である。

【図11】 実施の形態6にしたがって半導体レーザから出射される光信号の縦長楕円ビームが両フォトダイオ

ード上で受光される状態を説明する図であり、(A)は光学部品の位置ずれがない場合に光信号の縦長楕円ビームが両フォトダイオード上で受光される状態を説明する図であり、(B)は光信号の縦長楕円ビームが両フォトダイオードの上方へずれて受光される状態を説明する図であり、(C)は光信号の縦長楕円ビームが両フォトダイオードの左側にずれて受光される状態を説明する図である。

【図12】 ドラムレンズの下端面近くにエッジ形状に切り込み部を形成した状態を説明する図である。

【図13】 この発明の実施の形態7による波長モニタ装置を斜め側方から見た構成図である。

【図14】 ドラムレンズ表面に設けられた互いに対向する2つの平面を説明する図である。

【図15】 この発明の実施の形態8による波長モニタ装置をx-z面に平行な平面から見た構成図である。

【図16】 フォトダイオードに入射する光信号の入射角および反射光の反射角を説明する図である。

【図17】 この発明の実施の形態9による波長モニタ装置をy-z面に平行な平面（または真横）から見た構成図である。

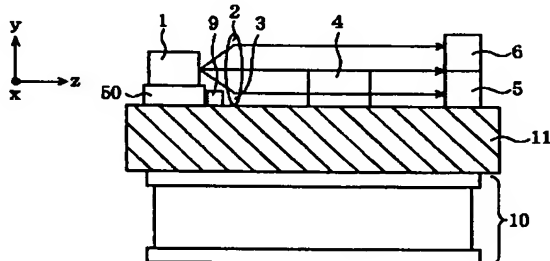
【図18】 フォトダイオードに入射する光信号および反射する光信号の光軸に対する角度を説明する図である。

【図19】 この発明の実施の形態10による波長モニタ装置をx-z面に平行な平面から見た構成図である。

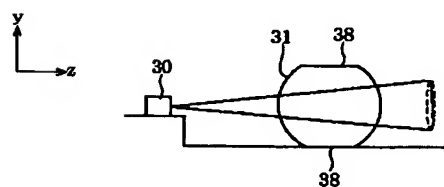
【図20】 この発明の実施の形態11による波長モニタ装置を斜め上方から見た構成図である。

【図21】 この発明の実施の形態12による半導体レーザ装置を真横から見た構成図である。

【図1】



【図14】



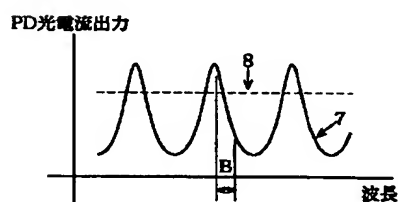
【図22】 この発明の実施の形態13による波長モニタ装置を斜め上方から見た構成図である。

【図23】 従来の波長モニタと光強度モニタを備えた波長モニタ装置の光学系図である。

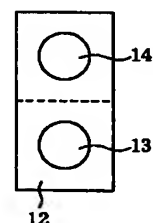
【符号の説明】

1 半導体レーザ、2 後方出射光信号、3 レンズ、4 波長フィルタ、5 第1のフォトダイオード、6 第2のフォトダイオード、7 第1のフォトダイオードからの光電流出力、8 第2のフォトダイオードからの光電流出力、9 サーミスタ、10 ペルチェ素子、11 ベースキャリア、12 フォトダイオード素子、13 フォトダイオード受光部、14 フォトダイオード受光部、15 フォトダイオード素子、16 フォトダイオード受光部、17 フォトダイオード受光部、18 フォトダイオード受光部、19 フォトダイオード受光部、20 フォトダイオード素子、21 フォトダイオード受光部、22 フォトダイオード受光部、23 フォトダイオード素子、24 フォトダイオード受光部、25 フォトダイオード受光部、26 APC回路、27 ATC回路、30 半導体レーザ、31 ドラムレンズ（シリンジカルレンズ）、31a 切り欠き部、32、61 波長フィルタ、33 第1のフォトダイオード（第1の光検出器）、34 第2のフォトダイオード（第2の光検出器）、35 恒温化素子、36 波長制御回路、37 位置決め部材、38 平面部（切り込み部）、41 アパーチャ、50 台座、51 第1レンズ（出力光レンズ）、52 ウィンドウ（楔形ウィンドウ）、53 光アイソレータ、54 パッケージ、55 光ファイバー。

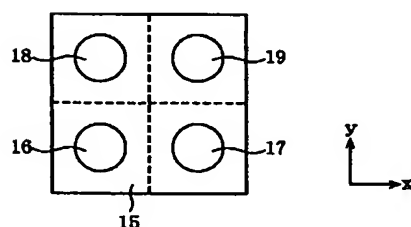
【図2】



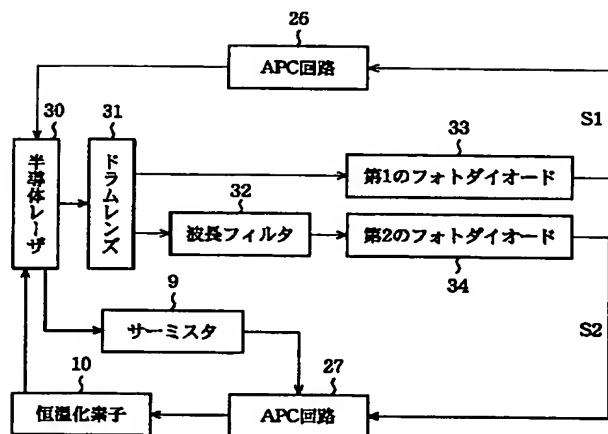
【図4】



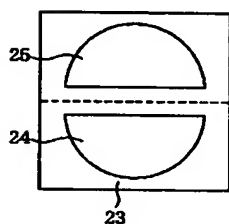
【図5】



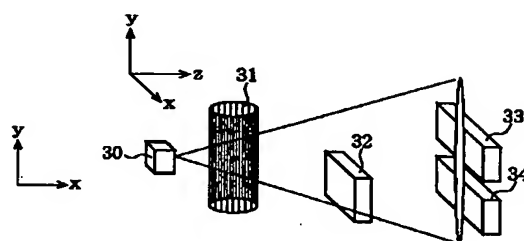
【図3】



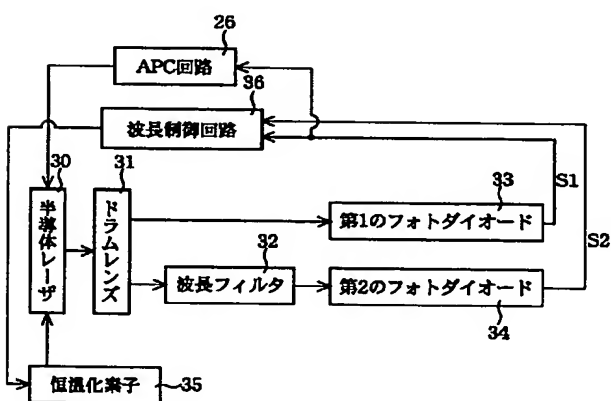
【図7】



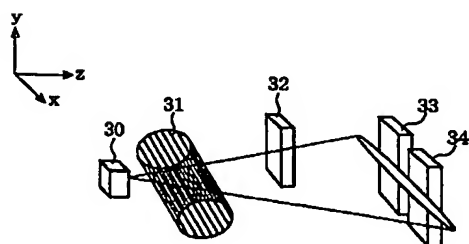
【図8】



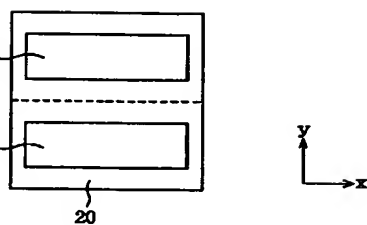
【図9】



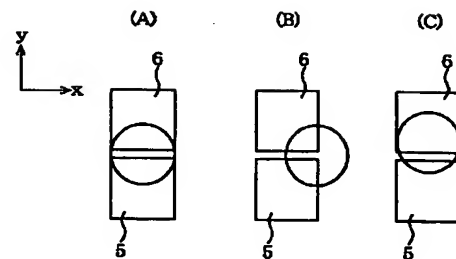
【図13】



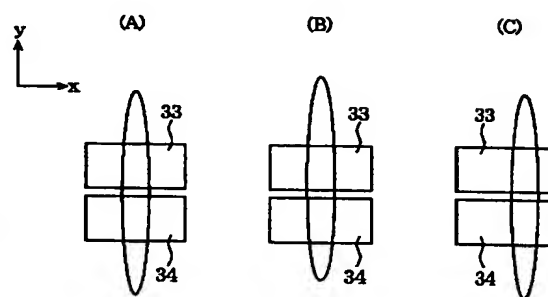
【図6】



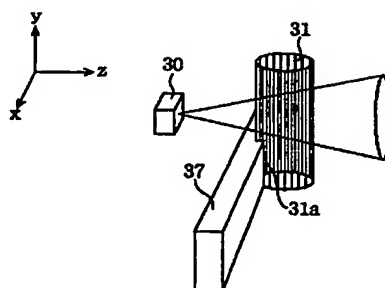
【図10】



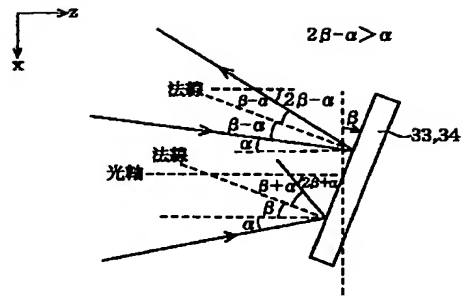
【図11】



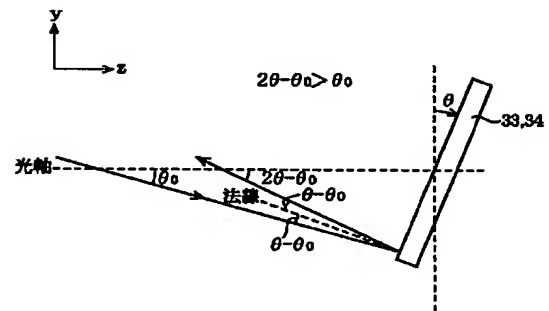
【図12】



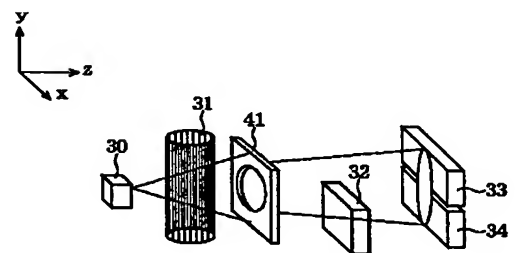
【例 16】



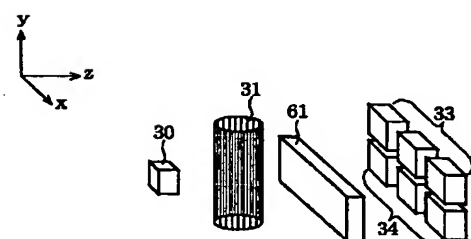
【例 18】



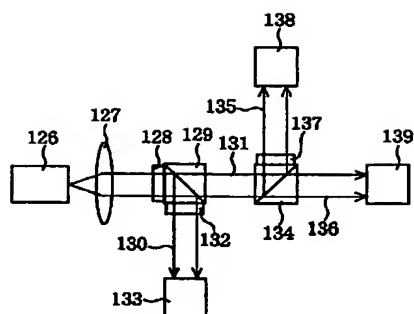
【図 20】



【图 22】



【図 23】



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 睦
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 増田 健之
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 足立 明宏
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 西村 靖典
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 ▲たか▼木 晋一
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5F073 AB27 BA01 EA03 FA02 FA11
FA25 GA12 GA13 GA22 GA23

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-237652

(P2002-237652A)

(43) 公開日 平成14年8月23日 (2002.8.23)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テームト* (参考)

H 0 1 S 5/0687

H 0 1 S 5/0687

2 H 0 3 7

G 0 2 B 6/42

G 0 2 B 6/42

5 F 0 7 3

H 0 1 S 5/024

H 0 1 S 5/024

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号

特願2001-33324(P2001-33324)

(22) 出願日

平成13年2月9日 (2001.2.9)

(71) 出願人 301005371

日本オブネクスト株式会社

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地

(72) 発明者 末嶋 哲士

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株式会社日立製作所通信事業部内

(72) 発明者 岡山 伸一

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株式会社日立製作所通信事業部内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

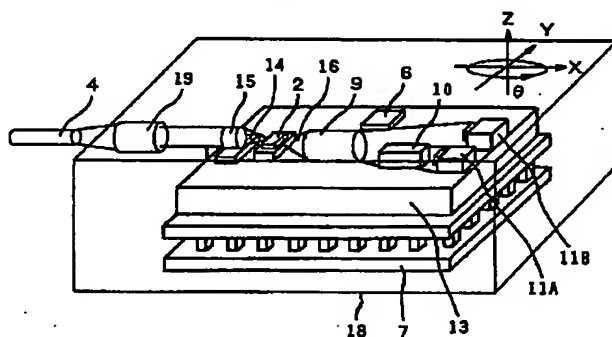
(54) 【発明の名称】 波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュール

(57) 【要約】

【課題】 フォトダイオードの受光効率を改善し、部品位置合わせが容易で、性能的に安定した波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールを提供する。

【解決手段】 レーザダイオード2と波長差発生用の光学フィルタ10との間に、後方レーザ光束の断面形状を扁平化するための光学レンズ9を備え、波長モニタ用の第1、第2のフォトダイオード11A、11Bの受光面12A、12Bを上記扁平化された後方レーザ光1の長径方向に沿って並列配置した波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュール。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】前方レーザ光と後方レーザ光とを放出するレーザダイオードと、上記レーザダイオードから放出された後方レーザ光の少なくとも一部を遮る位置に互いに並列に配置された第 1、第 2 のフォトダイオードと、上記レーザダイオードと上記第 1、第 2 のフォトダイオードの少なくとも一方との間に配置された光学フィルタとを有し、上記光学フィルタによって上記第 1、第 2 のフォトダイオードの入射光に波長差を与えるようにした波長モニタ機能付きレーザダイオードモジュールにおいて、

上記レーザダイオードと光学フィルタとの間に、後方レーザ光束の断面形状を扁平化する光束整形手段を備え、

上記第 1、第 2 のフォトダイオードの受光面を上記扁平化された後方レーザ光束の長径方向に沿って並べて配置したことを特徴とする波長モニタ機能付きレーザダイオードモジュール。

【請求項 2】前記第 1、第 2 のフォトダイオードがフォトダイオードアレイとして互いに一体化して構成されたことを特徴とする請求項 1 に記載の波長モニタ機能付きレーザダイオードモジュール。

【請求項 3】前記フォトダイオードアレイが前記光学フィルタの出射面に搭載されたことを特徴とする請求項 2 に記載の波長モニタ機能付きレーザダイオードモジュール。

【請求項 4】前記レーザダイオードを搭載する基板部材が前記光学レンズと光学フィルタの取り付け位置に穿設された第 1、第 2 の丸穴を有し、前記光学レンズと光学フィルタがそれぞれ円柱状の第 1、第 2 の部品支持部材の上面に搭載され、上記第 1、第 2 の部品支持部材が、

それぞれ上記第 1、第 2 の丸穴に挿入した状態で光軸調整した後、固定されたことを特徴とする請求項 1～請求項 3 の何れかに記載の波長モニタ機能付きレーザダイオードモジュール。

【請求項 5】前記レーザダイオードを搭載する基板部材の裏面に温度制御用の冷却手段を備えたことを特徴とする請求項 1～請求項 4 の何れかに記載の波長モニタ機能付きレーザダイオードモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザダイオード・モジュールに関し、特に波長多重変換 (DWDM) システムに適用される波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】大容量の情報化社会を迎え、光ファイバ通信網における伝送容量を拡大するために、一本の光ファイバに波長の異なる多数の光を多重化する DWDM 技術が実用化されている。波長の異なる多数の光を一本の光ファイバで伝送するためには、レーザ光源の波長を制御するための波長モニタ機能付きのレーザダイオード・

モジュールが必要となる。

【0003】レーザ光源における従来の波長モニタ方法として、例えば、特開平 10-79723 号公報では、図 6 に示すように、レーザダイオード 2 から放出される後方レーザ光 1 の照射範囲内に互いに並列に第 1、第 2 のフォトダイオード 11A、11B を配置し、これらのフォトダイオード 11A、11B の前方に光学フィルタ 10 を斜めに配置し、上記光学フィルタ 10 によってフォトダイオード 11A、11B への入射光間に波長差を与え、この波長差を利用してレーザ発信波長をモニタしている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】然るに、従来技術では、並列配置された 2 つのフォトダイオード 11A、11B の受光面を同時に照射できるように、後方レーザ光 1 を円錐状に広げ、その途中に光学フィルタ 10 を挿入した構成となっている。このため、図 7 に示すように、レーザ光 1 のかなりの部分がフォトダイオードの受光面 11A、11B を外れた領域を照射することになり、フォトダイオードによる受光効率が低いという問題があった。また、2 つのフォトダイオードの入射光間に波長差を与える目的で挿入される光学フィルタ 10 は、その角度によって透過波長が大きく変化するため、光学フィルタの前後に位置した他の光学系との間で高精度の位置合わせを必要としている。

【0005】本発明の目的は、フォトダイオードによる受光効率を改善した波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールを提供することにある。本発明の他の目的は、光学フィルタの位置合わせが容易で、性能的に安定した波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のレーザダイオード・モジュールは、レーザダイオードと光学フィルタとの間に、後方レーザ光束の断面形状を扁平化する光束整形手段を備え、第 1、第 2 のフォトダイオードの受光面を上記扁平化された後方レーザ光束の長径方向に並べて配列したことを特徴とする。本発明の他の特徴は、上記第 1、第 2 のフォトダイオードがダイオードアレイとして互いに一体化して構成したことにより、本発明の実施例では、上記フォトダイオードアレイが光学フィルタの出射面に搭載され、1 つの部品ユニットとして取り扱われる。本発明の更に他の特徴は、レーザダイオードを搭載する基板部材が、光学レンズと光学フィルタの取り付け位置に穿設された第 1、第 2 の丸穴を有し、光学レンズと光学フィルタがそれぞれ円柱状の第 1、第 2 の部品支持部材の上面に搭載され、上記第 1、第 2 の部品支持部材が、それぞれ上記第 1、第 2 の丸穴に挿入した状態で光軸調整した後、固定されるようにしたことにある。

【0007】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。図1は、本発明による波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールの1実施例を示す要部斜視図であり、図2は、上記実施例におけるフォトダイオード入射光と照射レーザ光と関係を示した図である。本発明は、レーザダイオード2からX軸方向に放出される後方レーザ光を、光束整形機能をもった光学レンズ9によってZ軸方向に圧縮（またはY軸方向に拡張）することによって扁平化、すなわち、断面がY軸方向に長径をもった楕円形状の光束に整形した後、2つのフォトダイオード11A、11Bに照射することに特徴がある。それぞれの受光面12A、12Bが上記後方レーザ光の照射領域内に位置するように、上記2つのフォトダイオード11A、11Bを楕円の長径方向（Y軸方向）に並べて配置することにより、図2に示すように、レーザ光の照射領域1におけるフォトダイオード受光面12A、12Bの占有比率を高くし、結果的に受光効率を改善できる。

【0008】上記レーザダイオード・モジュールは、以下の手順で組み立てられる。裏面に温度制御用のペルチェ素子7を備えた基板部材（以下、ステムと言う）13を用意し、先ず、レーザダイオード2をステム表面の所定位置にはんだで固定する。同様に、温度検出用のサーミスタ6をステム表面の別の位置にはんだで固定する。次に、上記レーザダイオード2の一方の端面から放出される前方レーザ光14に対して光伝達関係が得られる位置に前方第1レンズ15を位置合わせし、ステム表面にはんだで固定した後、レーザダイオード2の他方の端面から放出される後方レーザ光16に対して光伝達関係が得られる位置に、レーザ光束の断面を楕円状に整形する機能を持った光学レンズ9、例えば、シリンドリカルレンズを配置し、ステム表面にはんだで固定する。この後、上記光学レンズ9の後方で、楕円状レーザ光束を受光面12A、12Bで遮る位置にフォトダイオード11A、11Bを並列に配置し、ステム表面にはんだにより固定する。

【0009】次に、前方第1レンズ15から出射される前方レーザ光の波長をモニタしながら、ペルチェ素子7によってレーザダイオード2の温度を制御し、放出される前方レーザ光の波長を目標値に合わせる。この状態で、光学レンズ9とフォトダイオード11Aとの間に光学フィルタ10を仮搭載し、フォトダイオード11から出力される光電流を観測しながら光学フィルタ10の搭載角度 θ を調整する。上記光学フィルタ10は、入射光の角度と波長によって透過光のパワーが変化するものであり、上記光学フィルタ10の搭載角度 θ を光学レンズ9に正対した位置から一定の方向に回転させると、フォトダイオード11Aの光電流が変化し、出力電流に最小値と最大値が現れる。そこで、上記フォトダイオード1

1Aの出力電流を上記最小値と最大値との略中間点で微調整し、フォトダイオード11Bの出力電流に対して適当な電流差が得られるように、光学フィルタ10の搭載角度 θ を調整する。光学フィルタ10の搭載角度 θ が最適角度となった時、はんだ、その他の接着剤を用いて光学フィルタ10をステム表面に固定する。

【0010】上記ステム表面への部品搭載を終えたモジュール（ペルチェ素子7とステム13からなる構造体）はケース18に装着され、前方第1レンズ15で集光されたレーザ光と光伝達関係が得られる位置、例えば、ケース端面の所定位置に前方第2レンズ19が固定される。前方第2レンズ19には、例えば、YAGレーザ等を利用して、光ファイバ4が溶接される。

【0011】図3は、波長モニタ部の他の実施例を示す波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールの要部上面図である。この実施例では、2つのフォトダイオード11A、11Bを一体化して構成したフォトダイオードアレイ25と、出射面にフォトダイオード給電用及び固定用の電極パットを備えた光学フィルタ10とを用意し、フォトダイオードアレイ25を光学フィルタ10の出射面にはんだ等で予め固定することによって、1つの受光部品ユニットとして取り扱うことを特徴としている。

【0012】上記受光部品ユニットは、レーザ光束断面整形用の光学レンズ9の後方に仮配置される。前方レーザ光14の波長が目標値に設定された段階で、上述したように、フォトダイオード11Aと11Bの光電流を観測しながらユニットの搭載角度 θ を調整し、2つの光電流値に適当な電流差が得られ状態（最適搭載角度）で、はんだ、その他の接着剤によりステム表面に固定する。図1に示したレーザダイオード・モジュールと、図3の受光部品ユニットを用いたレーザダイオード・モジュールは、2つのフォトダイオード11A、11Bの出力電流差が一定となるように温度制御することによって、前方レーザ光の波長を安定させる。

【0013】図4は、本発明による波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールの更に他の実施例を示す要部斜視図である。この実施例では、ステム表面におけるレーザ光束断面整形用光学レンズ9の取り付け位置と、光学フィルタ10とフォトダイオードアレイ25からなる受光部品ユニットの取り付け位置に丸穴を穿設しておく。図5に一部断面図で示すように、光学レンズ9と受光部品ブロックをそれぞれ円柱（または円筒）状の部品支持ブロック90、100に予め搭載しておき、各部品支持ブロックを上記穴に挿入し、それぞれの回転角度を調整して光軸合わせを行うようにしたことを特徴としている。

【0014】図4では、部品支持ブロック90への部品搭載と取り扱いを容易にするため、例えば、樹脂等の被覆によって光学レンズ9の外形を直方体に行っているが、

部品支持ブロック 90、100 に搭載される部品の形状は任意に選択できる。また、これらの部品は、上記各部品支持ブロックの上面にはんだ、その他の適当な接着剤によって固定される。

【0015】本実施例の場合、光学レンズ 9 を搭載した部品支持ブロック 90 と、光学フィルタ 10 とフォトダイオードアレイ 25 からなる受光部品ユニットを搭載した部品支持ブロック 100 とを予め作成しておき、ステム 13 の表面にレーザダイオード 2、センサ 6、前方第 1 レンズ 15 を固定した後、これらの部品支持ブロックをそれぞれの穴に挿入する。この状態で、前方レーザ光 14 の波長を目標値に設定し、フォトダイオード 11A、11B の出力電流差が適正值となるように、部品支持ブロック 90、100 の回転角度を調整する。最適搭載角度となった状態で調整作業を終了し、図 5 に示すように、例えば、YAG レーザヘッド部 22 から出力されるレーザ光 23 を利用して、各部品支持ブロックを穴に溶接固定する。

【0016】

【発明の効果】以上の説明から明かなように、本発明によれば、レーザ光束断面整形用の光学レンズを使用することにより、フォトダイオードの受光効率を改善できる。また、複数の部品を予めユニット化することにより、光学部品の光軸合わせを容易、且つ高精度に行なう

ことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールの 1 実施例を示す要部斜視図

【図 2】図 1 におけるフォトダイオード受光部と入射レーザ光の関係を示す図。

【図 3】本発明による波長モニタ部の他の実施例を示す図。

【図 4】本発明による波長モニタ機能付きレーザダイオード・モジュールの更に他の実施例を示す要部斜視図。

【図 5】図 4 の実施例における部品支持ブロックの取り付け構造と固定方法を説明するための一部断面図。

【図 6】従来の波長モニタ部の構造を示す図。

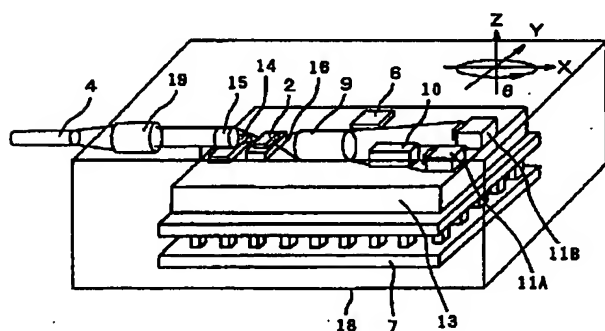
【図 7】従来の波長モニタ部におけるレーザ光とフォトダイオードとの関係を示す図。

【符号の説明】

1：レーザ光、2：レーザダイオード、4：光ファイバ、6：サーミスタ、7：ペルチェ素子、9：レーザ光束断面整形用の光学レンズ、10：光学フィルタ、11：フォトダイオード、12：受光面、13：ステム、14：前方レーザ光、15：前方第 1 レンズ、16：後方レーザ光、19：前方第 2 レンズ、25：フォトダイオードアレイ、90、100：部品支持ブロック。

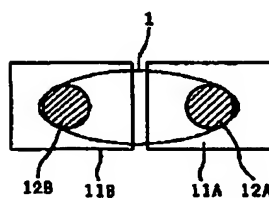
【図 1】

図 1



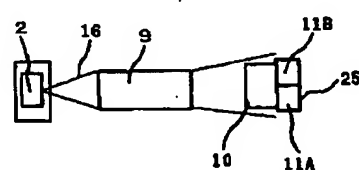
【図 2】

図 2



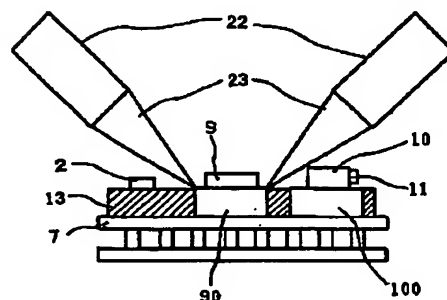
【図 3】

図 3



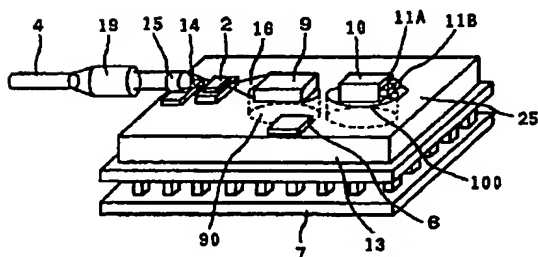
【図 5】

図 5



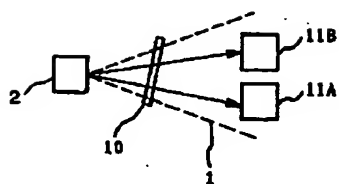
【図 4】

図 4



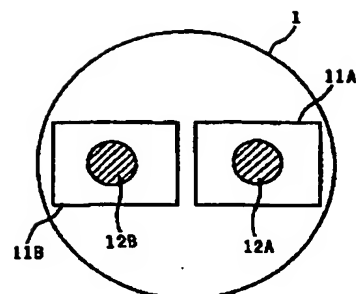
【図6】

図 6



【図7】

図 7



フロントページの続き

(72)発明者 桑野 英之
 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株
 式会社日立製作所通信事業部内
 (72)発明者 内田 勝己
 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株
 式会社日立製作所通信事業部内

(72)発明者 坂本 慎太郎
 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株
 式会社日立製作所通信事業部内
 Fターム(参考) 2H037 AA01 BA03 DA03 DA04
 5F073 AB25 EA03 FA01 FA02 FA08
 FA16 FA25